L'UNITÀ
DELLE
FORZE FISICHE
SAGGIO
DI FILOSOFIA NATURALE

DEL

P. ANGELO SECCHI D. C. D. G.

PROFESSORE DI ASTRONOMIA,
E DIRETTORE DELL'OSSERVATORIO DEL COLLEGIO ROMANO;
MEMBRO DEL COLLEGIO FILOSOFICO DELL'UNIVERSITA' ROMANA,
DELLA SOC. ITAL. DE' XL, DELL'ISTITUTO DI FRANCIA,
DELLA SOC. R. DI LONDRA EC. EC.

ROMA
TIPOGRAFIA FORENSE
1864

PREFAZIONE

La grande scoperta che presentemente preoccupa tutti i dotti, e illustra la nostra epoca, è quella della teoria meccanica del calore, per la quale questo agente viene ridotto ad un semplice modo di movimento. L' esporre le basi di questa teoria ed estenderne le applicazioni agl' imponderabili e alle altre forze fisiche, è lo scopo dell' opera presente.

Non farà meraviglia a veruno che un astronomo entri a trattare una materia creduta communemente del dominio de' fisici, se si rifletta che la questione sulla natura delle forze interessa in modo speciale l'Astronomia. In due modi infatti si possono considerare i moti celesti; o come semplici corollari di una forza astratta, la gravità, della quale conosciuta che sia una volta la legge elementare, tutto il resto si trae per forza dell'analisi, ovvero come effetti provenienti da una causa immediata di ordine più elevato, di cui la gravità stessa non sarebbe che una conseguenza. Finchè si tratta del calcolo de' movimenti planetari, la prima maniera basta ai bisogni dell' astronomo, ma quando si viene a cercare la spiegazione di altri fenomeni che presentano gli astri, come le comete, gli aeroliti, e il sole stesso, ciò non è più sufficiente: e non solo le loro apparenze fisiche non possono più spiegarsi con quell'unico principio, ma le leggi stesse de' movimenti mostrano delle aberrazioni non trascurabili. Per intender queste è mestieri ricorrere all' azione di quelle forze che reggono la materia e che noi conosciamo da vicino e per dir così maneggiamo communemente.

Le recenti osservazioni han dimostrato che entrano in attività anche nello spazio planetario la ripulsione calorifica, la resistenza del mezzo, l'azione magnetica e l'elettrica,

talchè non v' è dubbio che queste forze non siano comuni a tutta la creazione e leghino insieme, come la luce, tutti i più remoti corpi dell' universo.

In faccia a un' idea sì seducente, chi si avviò per la carriera astronomica dopo molti anni spesi nello studio della fisica, non può a meno di non sentirsi grandemente incitato a studiare la mutua relazione di queste forze, e investigarne i principî, e vedere se sia possibile ridurle tutte a una origine commune. I grandi progressi che ha fatto la scienza in questi ultimi tempi han tolto le principali difficoltà che incontravano i dotti a trattare un tale problema, e non si riguardano più come indipendenti le forze fisiche e quelle che reggono il moto de' corpi celesti. L' esistenza di un vuoto assoluto nello spazio planetario non è più ammessa da nessuno, e le forze non si stimano più come qualità occulte infuse alla materia, ma come risultati di semplice movimento, e ciò apre un nuovo campo inesplorato da quelli che trattarono per l' innanzi simile argomento.

Per me lo studio di questa sintesi fu sempre soggetto di predilezione, e fino dal 1858 *in una tornata dell' Accademia Tiberina lessi, e poscia pubblicai con note una breve dissertazione su questa materia* (1). *Sin d' allora nacque desiderio a diversi di vedere più diffusamente trattato questo tema nella nostra lingua, in cui manca un' opera che esponga in modo ragionato e complessivo gli ultimi progressi della scienza. Ma la moltitudine degli altri lavori propri del mio uffizio non mi permisero d' occuparmene. Solamente in un altro breve scritto pubblicato appresso toccai questo tema* (2), *e mentre da distinti fisici ebbi incoraggiamenti ad occuparmene, ebbi anche occasione di persuadermi che molte delle idee già invalse nella scienza non*

(1) V. Giornale Arcadico vol. IX nuova serie. *Sulla correlazione delle forze fisiche ec.*

(2) *Lettera su di un problema cosmologico.* Roma Tip. Marini 1862.

erano ancora diffuse e conosciute sufficientemente tra di noi. Quindi mi accinsi a stendere queste pagine nei brevi ritagli di tempo che mi permettevano gli altri doveri.

In quest' opera io non ho la pretensione di creare una novella filosofia della natura, ma solo di esporre quella che oggidì va prevalendo dietro lo studio de' fenomeni. Il lettore vedrà nel decorso di essa i lavori delle tante celebrità scientifiche che illustrano la nostra età: qui basti accennare i nomi de' Seguin, Joule, Thompson, Grove, Hirn, Lamé, Moigno, Tyndall, Clausius, Dumas, Cantoni, Fusinieri, Zantedeschi, Bizio, Turazza, Graham, Bunsen, Foucault, Dupré ec. ec. che tanto hanno fatto progredire e diffusa questa teoria in sì breve tempo. Il qual fatto, se pur altri mancassero, mostra che l'epoca presente non ha che invidiare alle passate, anche le più gloriose per la scienza.

Non voglio dissimulare che la difficoltà di trattare questa materia, in modo da render l' opera accessibile al maggior numero de' lettori, l' ho trovata maggiore di quella che credeva da principio. Per ciò era necessario spogliare le dimostrazioni dall' apparato di formole e di calcoli, senza che perdessero di loro forza; inoltre trattandosi di primi principî, questi non potevano veramente dimostrarsi colla matematica, la quale può bensì estendere le conseguenze che da essi si tirano e offrire così mezzi preziosi di verifica, ma non mai provare direttamente le prime basi teoriche. La parte sperimentale stessa non era facile di proporla in modo conveniente. In questa doveansi evitare i dettagli degli sperimenti, opera che spetta ai trattatisti speciali, ma insieme erano da richiamare i risultati in modo che potesse intenderne la sostanza e il valore anche chi non li conoscesse per altra via. Altrimenti si sarebbe riuscito noioso ad alcuni de' lettori e inintelligibile ad altri. Nel pericolo però delle due alternative ho preferito piuttosto il primo difetto che il secondo, amando meglio esser superfluo

che deficiente. La copia de' fatti raccolti, specialmente in certi punti, sarà sufficiente a mostrare il collegamento delle parti singole della scienza, e ancorchè fallisse lo scopo principale del lavoro, questa parte secondaria, ma fondamentale, non sarà certamente inutile, nè senza profitto pel lettore. Così l'opera è disposta in modo che può servire a complemento d'istruzione nella fisica più elevata, specialmente a giovani che abbiano già una certa tintura dei fatti più elementari.

Quello che voglio avvertire è che il libro è riuscito tale che esige una seria lettura e una ponderata attenzione per la moltiplicità delle materie e per la loro difficoltà. Esso è molto diverso in ciò da quelle amene letture popolari, mezzo scientifiche, mezzo letterarie, introdotte in questi ultimi tempi per diffondere la scineza, le quali benchè utilissime a spargerla, sono però ben lungi dal farla progredire. Il mio scopo era principalmente questo secondo, e mi sono sempre confortato nella fatica col pensiero che se anche io fallissi la meta, poteva esser questa stessa una occasione perchè qualche altro di me più valente si risolvesse di farla avvantaggiare, vedendo i preziosi elementi che s'erano conquistati e che io non avea saputo comporre.

Sarebbe stato facile introdurvi belle digressioni, prestandosi a meraviglia bene un soggetto così vasto e dilettevole, ma col rendere più ameno il libro si sarebbe distratto il lettore, ed esso avrebbe più facilmente perduto il filo de' ragionamenti. Anzi per facilitare il nesso de' medesimi ho riassunto alla fine di ciascun capo le cose principali in esso trattate, e così potrà chi vorrà, anche senza leggere tutta l'opera averne un'idea.

Era mia intenzione aggiungere qualche nota, tanto per esporre alcune teorie appena accennate, quanto per dimostrare col calcolo alcune proposizioni assunte come certe, e altre che forse non sarebbero state prive di novità. Ma essendo il volume già cresciuto a mole competente, ed essendosi

protratta l' edizione più che non era mia intenzione, ho creduto bene di soprassedere per ora.

Nel mentre che si veniva stampando (1) *la scienza ha fatto non pochi progressi, e ne ho profittato quando era ancora in tempo a mano mano che arrivavano a mia cognizione; ho avuto però il piacere di vedere che se io poteva aggiungere nuovi argomenti e prove novelle a quanto avea preparato, non aveva nulla da rettificare, il che mi fa credere che la scienza è in certo stadio in cui potrà bensì chiarirsi con ulteriore progresso il concetto che espongo, ma non verrà dimostrato falso.*

In alcuni punti certe congetture saranno giudicate forse un poco ardite, ma come ciò è ben diverso dall'essere false o proposte senza fondamento, quindi spero che il lettore leale prima di rigettarle vorrà esaminarle, ma essendo congetture io le do per quello che sono.

Non così facilmente saprò scusarmi della taccia di aver abbracciato un soggetto troppo vasto e superiore alle mie forze, e confesso che avrei lasciato in disparte il lavoro già condotto a fine, se non avessi trovato chi a suo carico ne assumeva la pubblicazione. Io ho secondato volentieri queste dimande senza le quali sarei stato unicamente pago di avere, per unica mia soddisfazione, percorso l'arringo di una considerazione approfondata di tutte le forze della natura. Piacere veramente sommo ed inesprimibile, che compensa a mille doppi la non poca fatica che costa. Così avessi saputo metter le cose sotto tale aspetto da far gustare anche ad altri simile diletto.

A. Secchi.

Roma li 10 *Aprile* 1864.

(1) L' edizione fu cominciata ai primi d' agosto 1863.

L'UNITÀ
DELLE
FORZE FISICHE

INTRODUZIONE

La scienza che ha per suo scopo la cognizione delle forze fisiche che reggono l'Universo, per ciò che spetta la materia inorganica, è entrata in questi ultimi anni in una fase novella. I numerosi cultori e uno slancio incredibile derivato dalle utili applicazioni di cui essa si è mostrata feconda, l'han fatta progredire a passi giganteschi: i mezzi di cui l'esperienza e l'osservazione si sono valute non sono stati più quelli de'semplici scienziati, sempre scarsi al bisogno e limitati nella estensione, ma quelli di ricche società commerciali e di governi illuminati: così è stato permesso di verificare in vasta scala le conseguenze che i dotti aveano tratto dalle loro speculazioni, e di estenderne il campo. L'uso del vapore nelle macchine motrici, dell'elettricità nella telegrafia e nella metallurgia, le applicazioni della chimica nell'industria e nelle arti comuni, hanno provocato una serie di ricerche, le quali hanno messo la teoria della costituzione dei corpi sotto un nuovo lume. Molte opinioni ricevute dianzi generalmente sono ora state abbandonate, e nuove ne furono introdotte: un inaspettato legame si è ritrovato tra i varî agenti della natura creduti fino ad ora indipendenti, e si è veduta dischiusa la via a poter salire alla soluzione del gran problema che è la cognizione delle forze che reggono la materia.

Da gran tempo esse erano state classificate e ridotte

a piccol numero; il calore, la luce, l'elettricità, il magnetismo, le attrazioni moleculari, le affinità chimiche, la gravitazione universale, sono i varî principî a noi cogniti che epilogano tutti i fenomeni della materia. La loro indole per gran tempo misteriosa, o mal conosciuta, sembra ora svelarcisi sotto una forma novella e più semplice, cioè quella del movimento. Una sostanza imponderabile, impalpabile, incoercibile, diffusa per tutto, distinta col nome di *Etere*, pervade l' Universo, ed entrando come principio operatore in tutte queste azioni in modo meramente meccanico, sembra esser la causa di fenomeni senza numero. Ma in qual maniera si compie un tal lavoro? Come si collegano tanti fenomeni così diversi? Soltanto i fatti debitamente studiati e disposti ci possono illuminare in questa difficile discussione, e ogni teoria che voglia formularsi deve esser preceduta da una esposizione e rassegna ordinata de' dati dell' esperienza. Soltanto dopo aver soddisfatto a questo còmpito si potrà supplire con ragionamenti ed ipotesi colà dove manca la luce de' fatti e la penetrazione de' sensi.

Collegare l' immenso numero de' fenomeni che formano le manifestazioni di queste forze, e mostrarne la mutua connessione, è ciò che io ho *tentato* di fare in queste pagine, dirette specialmente all' istruzione della gioventù studiosa. In esse alcun poco di utile troveranno pure quelli che già conoscono la scienza, perchè ordinando e mettendo sotto un conveniente punto di vista i fatti conosciuti; e ravvicinando così i termini delle nostre cognizioni, ne nasce una luce novella, con la quale le verità si rischiarano reciprocamente. Ho cercato di non mettere del mio che il minimo possibile, e solo colà ove era qualche vuoto e mancava l' altrui lavoro, mi sono creduto autorizzato a suggerire qualche supplemento, che non so se sarà sempre giudicato felice.

Il ridurre tutte le forze della natura annoverate disopra ad un solo principio è l'aspirazione degli scenziati di

oggidì, ma finora bisogna confessare che il cammino non è spianato interamente: grandi lacune lo interrompono, e felice chi saprà colmarle. Altri ha tentato di farlo escludendo affatto ogni principio diverso dalla materia ponderabile: io tento una strada diversa: il lettore giudicherà con qual successo, ma potrà facilmente rilevare che la differenza delle due teoriche non è tanto grande quanto pare a prima vista. Lasciato però da parte ciò che spetta i punti ancora dubbiosi, io porto fiducia che cercando di riunire le parti già compiute di questo grande edifizio, riuscirà più agevole il pervenire al suo coronamento. So che lo spirito de'moderni scienziati è stato finora piuttosto avverso a lavori di tale specie, e che molti amano meglio adunar fatti e sperienze, che discuterli teoricamente; tuttavia tale avversione và scemando. E infatti come sarebbe improvido colui che sempre adunasse materiali senza mai pensare ad edificare, così essendo l'unico scopo della scienza il conoscere la costituzione e le leggi dell'Universo, sarebbero improvidi gli scienziati se contenti di accumulare fatti, non venissero di tanto in tanto rivedendo il già fatto, se non altro per sapere ove sia la mancanza, e cercare come riempirla. Così si preparerà alla generazione crescente la strada per arrivare a tale cognizione, forse negata a noi; e tale è unicamente lo scopo di questo lavoro. Io volentieri applaudirò a chi saprà sorpassarmi in questo arringo, e finchè ciò si avveri dirò:

. . . . . *Si quid novisti rectius istis*
Candidus imperti, si non, his utere mecum. (*Hor.*)

CAPO I.

Del Calorico.

§. I.

Nozione e leggi generali del calorico.

Il *fuoco* dissero gli antichi essere il principio della vita: altri lo ravvisarono qual principio animatore dell'universo; e del fuoco pure armarono la destra del Nume fulminatore. Principio sottile, incoercibile, capace di tutto pervadere, di tutto distruggere ed immutare, fu meritamente in tutti i tempi annoverato tra le grandi forze della natura. Ma il fuoco è un fenomeno assai complicato: esso include un'eccitamento notabile di calore nel corpo, con isviluppo di luce, e alterazione chimica delle sostanze che entrano in combustione. Questi effetti sono prodotti da un qualche agente o principio messo in attività, a ravvisare il quale la moderna scienza precisando con più esattezza le vaghe nozioni degli antichi, ha distinto varî effetti di cui esso è capace, e lo ha rintracciato anche in quelle operazioni nelle quali esso non si manifesta in modo da ferire il senso della vista col baglior luminoso. Essa ha separato i varî suoi effetti di scaldare, di illuminare, di scomporre, dagli altri più reconditi che accompagnano il fuoco celeste, ossia il fulmine, detto già comunemente *fuoco elettrico* dai primi elettricisti. Così si è riuscito a meglio dimostrare la generalità del suo intervento nell'economia della creazione, e a penetrarne il mistero. Questo fu il frutto di una analisi indispensabile per arrivare a conoscere l'indole di questa forza; ma ora la scienza deve ritornare ad una sintesi novella che metta in corrispondenza ed in armonia tutti i fenomeni che si presentano ordinariamente riuniti in un solo atto della natura. Però l'esposizione di questa grande sin-

tesi riuscirebbe inintelligibile e senza fondamento, se non fosse preceduta da quella dell'istessa analisi; quindi noi nel trattare di questo argomento, che forma lo scopo delle presenti pagine, percorreremo separatamente i varî aspetti sotto i quali la scienza ravvisa l'azione di questo agente universale, la cui definizione non dobbiamo anticipare prima di avere esposto i fatti che cè la rivelano.

Cominceremo pertanto dall' esaminare l' azione e le leggi del principio che produce in noi la sensazione del *caldo* o *calore*, e che venne dai fisici qualificato col nome di *calorico* per contraddistinguerlo dalla sensazione stessa (1). Ma oltre questo effetto prodotto su di noi e su tutti gli esseri senzienti, la sua presenza si manifesta in tutti i corpi con un cambiamento di volume, e tutte le sostanze generalmente parlando si dilatano per aumento di calorico e si restringono per la sua sottrazione. La sensazione suddetta è fenomeno meramente psicologico di specie affatto diversa dalla dilatazione de' corpi, e benchè nasca in origine da tale dilatazione, pure l'una nulla ha di comune coll'altra. Infatti nelle forti sottrazioni di calorico fatte al corpo umano, quali si hanno toccando corpi freddissimi, si ha sensazione di scottatura non meno che toccando corpi roventi. Perciò le sensazioni non potrebbero mai servirci di scorta per giudicare della misura di sua attività, e molto meno per conoscere la sua natura.

La misura della forza calorifica solo si trae dai fenomeni di dilatazione mediante i *termometri*, strumenti a ciò destinati e in cui tale dilatazione può misurarsi con esattezza; e l'intensità di questa forza costituisce la *temperatura* che dicesi anche *tensione calorifica*.

Dietro lunga esperienza sui fenomeni che presentano i corpi caldi, risultarono alcune leggi che essendo indipendenti da ogni idea teorica devono servire di fondamento.

(1) Useremo però promiscuamente calore e calorico, benchè la parola calore sia da alcuni destinata esclusivamente alla sensazione.

Legge 1.ª « *Il calorico in tutti i corpi tende all'equilibrio*», vale a dire che succede uno scambio continuo fra tutti i corpi contigui o che stanno distribuiti intorno alla medesima cerchia, finchè tutti siano alla stessa temperatura o tensione, cioè fino a tanto che un corpo termometrico mostri in tutti eguale espansione. Questo scambio succede tra i corpi a contatto per quella che dicesi facoltà *conduttrice*, e tra quelli posti a distanza per mezzo del *raggiamento*. Quindi la doppia distinzione di *calorico di stato* o di *comunicazione*, e di calorico *radiante*. In questo capo studieremo i fenomeni del primo , lasciando l'altro al seguente.

Ma posti due corpi alla stessa temperatura è ben diversa la quantità di calorico che contengono : quindi una

2.ª legge «*Per portare pesi eguali di sostanze diverse alla stessa temperatura le quantità di calorico sono assai differenti* ». Così la stessa quantità di calorico che scalda di 1° C. un chilogrammo d'acqua, scalda di 9° uno di ferro, talchè mescolando insieme pari masse di acqua a 10° e di ferro a 0° la massa riunita segna 9°, e l'acqua perdendo un grado solo, ne comunica 9° al ferro (1). *Le quantità relative di calore richieste per alzare un'identico peso di un corpo a pari temperatura d' un altro* sono state chiamate *calorico specifico*. Quì è manifesto che non si misura la quantità assoluta, ma solo la relativa. Per ciò si è convenuto di riportar tutto all' acqua, e prendere per *unità di misura quella quantità di calorico che alza da 0° a 1° centigrado un chilogrammo d'acqua distillata* : questa unità di misura dicesi *caloria*. Ciò è simile a quanto si fa in meccanica per valutare le forze o le masse che tutto si riferisce a una forza o massa unita; e così non è mestieri per studiare i fenomeni e per calcolarne i rapporti di sapere

(1) Questi numeri sono approssimati quanto basta per richiamare la legge fondamentale: vi torneremo sopra appresso.

in che consista la natura del calorico, come finora ci è impossibile di determinare la sua quantità assoluta.

3.ª «*Lo stato fisico de' corpi, solido, liquido, aeriforme o gassoso, dipende dalla quantità del calorico*», e tutti i corpi possono passare per questi tre stati mediante opportune quantità di calorico. La forma gassosa o aerea si considera come quella in cui le particelle dei corpi sono libere e sciolte, e dotate inoltre di una forza espansiva indefinita. Liquidi sono quelli che hanno le loro molecole mobili al più piccolo impulso, ma mancano della facoltà espansiva: solidi finalmente quelli in cui le particelle sono tenute dalle forze così dette di coesione, onde hanno una forma lor propria dipendente dai legami nati da quelle che diconsi *forze attrattive*. In generale a questi tre stati corrispondono diversi volumi e libertà diversa delle particelle, che è massima nei gas, é minima nei solidi.

4.ª «*In ogni cambiamento di stato di un corpo una certa quantità di calorico passa a stato che dicesi LATENTE se il corpo passa dallo stato in cui le particelle sono MENO libere a quello in cui lo sono PIU', e viceversa si sviluppa calorico nel passaggio contrario*». Questa legge è importantissima, ed è fondata sui fatti i più certi ed ovvii. Quando p. e. una libra di ghiaccio a 0° si mescola con pari quantità di acqua a 79° C, il miscuglio trovasi a 0° quando tutto il ghiaccio si è sciolto, talchè questo *solido* nel *fondersi* ha assorbito la quantità di calorico che era nell'acqua e che era di 79° (1). Così questo calorico non avendo prodotto effetto sensibile sul termometro, si disse *latente*, ma è manifesto che ha prodotto un altro effetto, cioè quello di distruggere i vincoli che tene-

(1) Rigorosamente parlando la capacità dell'acqua pel calorico non è la stessa a tutte le temperature, ma cresce con queste, e lo stesso accade per tutti gli altri corpi; ma qui facciamo astrazione da queste piccole diversità.

vano unite le particelle dell'acqua in istato solido, e di render loro la libertà propria dei liquidi.

Così pure quando un corpo passa da stato liquido ad aereo, una quantità di calore diviene pure *latente*, e questa è di 606,5 calorìe per l'acqua. Viceversa condensando il vapore elastico a stato liquido si sviluppano le 606,5 calorìe assorbite nel caso contrario, e nel solidificarsi dell'acqua si svolgono le 79 calorìe assorbite dalla fusione del ghiaccio. Onde realmente la quantità assoluta *del calorico* non rimane la stessa nei diversi stati, benchè sia la stessa temperatura del corpo, per cui si disse *latente*. Tale denominazione ed altre molte furono suggerite dalle idee anticamente ricevute sulla natura del calorico; ma noi ne vedremo la significazione fisica, e per ora le riceveremo come termini convenzionali contenenti l'enunciato de'fatti.

Per rendersi però indipendenti anche da tali idee i moderni cominciano ad usare le frasi di *calorìe di temperatura*, di *fusione*, di *evaporazione*, di *dilatazione*.

5.ª Le dilatazioni de' corpi variano secondo la natura della sostanza e lo stato fisico della medesima. Pei gas vale approssimativamente la legge che «*le dilatazioni sono proporzionali alle temperature, e le densità in ragione inversa delle pressioni*». La prima parte di questa legge stabilita da Gay Lussac (da cui anche prende il nome) si credeva vera per tutti i gas e vapori, ma si è dimostrato da Regnault che essa si scosta tanto più dalla verità quanto più il corpo si avvicina allo stato liquido; così pure dicasi della 2.ª parte, conosciuta col nome di Boyle o di Mariotte, che non è vera che pei gas detti perfetti, e che sono lontanissimi dal loro punto di liquefazione. Queste sono leggi *limiti*, a cui non soddisfanno le sostanze se non se spogliate di tutte le cause perturbatrici derivanti da quelle forze che diconsi moleculari, le quali fanno sentire la loro influenza anche prima che il corpo cambi di stato. Così tra gli astri il moto ellittico è una legge *limite* che

si verificherebbe soltanto nel caso di un sol corpo centrale e di un astro unico circolante intorno ad esso, ma essendovi più pianeti non ha luogo che approssimativamente. La forza espansiva che i corpi acquistano pel calorico e specialmente i gas, è quella che in ogni caso si utilizza per motore nelle macchine a fuoco, ed è in virtù di tale forza espansiva che la macchina fa un *lavoro*, come meglio vedremo appresso.

Il calorico è detto un'*imponderabile* , perchè i corpi per caldi che sieno non sono più pesanti che freddissimi : esso pure dicesi esistere in tutti i corpi , perchè per raffreddati che siano, sempre resta luogo a maggiore raffreddamento. Di altre leggi parleremo all'occasione che ci si presenterà più opportuna, e passiamo a studiare la questione della sua natura.

§. 2.

Cenni storici e proposta della teoria meccanica del calorico.

Il calorico fu considerato fino a pochi anni or sono come una sostanza *sui generis* non soggetta alla gravità, che interponendosi tra i pori dei corpi ne aumentasse il volume. Tale teoria spiegava molti de' fatti più importanti allora conosciuti, come la costanza de' calori specifici , e quelli di evaporazione: perciò si ammetteva che esso potesse annidarsi tra i pori de'corpi in modo da non riuscire sensibile al termometro, e che i diversi corpi avessero diversa capacità per esso. Questo era sufficiente per ridurre a regola e calcolo i fenomeni per i pratici, e pei geometri, e quindi nomi illustri, come Laplace , Lavoisier , Gay-Lussac, ec. accettarono, almeno per via di fatto, una tale opinione.

Altri fisici invece riflettendo alla grande relazione che

vi è tra il movimento ed il calore, talchè realmente ogni variazione di calore si traduce in una variazione di volume, il che non può farsi senza un movimento, e d'altra parte ogni movimento produce sempre calore, vennero nella opinione che il calorico fosse un movimento intestino de'corpi che variasse le distanze delle molecole per gli urti reciproci prodotti nel corpo dalle cause estrinseche o meccaniche o chimiche. Newton fuor d'ogni circonlocuzione chiama il calore nei corpi un *moto vibrante* (1). Molto svolsero questa teoria il Rumford e il Montgolfier, il primo appoggiandosi sui fenomeni più ovvii dell'attrito, l'altro sul modo con cui dovea conservarsi la forza viva nell'urto de'corpi. L'ultimo fu condotto a tale teoria dalle considerazioni fatte sulla macchina di sua invenzione detta *Ariete idraulico*: ma poco si badò a tali idee, e Montgolfier fu più celebre pei suoi aerostati di carta che per sì importante teoria fisica.

I progressi dell'ottica specialmente dopo i bei lavori di Fresnel, condussero all'accettazione quasi universale del sistema delle onde per ispiegare i fenomeni della luce, e si ammise che essa consisteva in un movimento vibratorio, analogo in qualche modo al moto sonoro; e che come questo si propaga per l'aria e pei fluidi oscillanti, ma generalmente ha origine nelle vibrazioni dei solidi; così la luce e tutte le vibrazioni calorifiche e chimiche che compongono i raggi emessi dai corpi incandescenti devono avere la loro origine nei tremori dei corpi lucenti, e non possono propagarsi che per mezzo di un fluido. Questo fu chiamato *etere* e si ammise che fosse diffuso per l'universo.

Le belle scoperte del Melloni sul calorico radiante che sempre più mostravano l'analogìa sua colla luce, malgrado

(1) Optice quaest. 5 pag. 294 dell'ediz. di Londra 1706. *Annon ..... (agit) lumen in corpora ad ea calefacienda scilicet, motumque vibrantem, in quo calor consistit, in partibus excitandum?*

si verificherebbe soltanto ne' ... egli stesso da principio
e di un astro unico circolar ... irono col persuadere che
più pianeti non ha luog ... rimento. Questa teoria ab-
forza espansiva che i co ... mpère, fu tra noi con molto
cialmente i gas, è quell ... nell' elementare insegnamento
motore nelle macchine ... delle sue idee allora credute
espansiva che la mac ... poscia verificate dalla prova dei
dremo appresso.

Il calorico è d ... di idee esatte sul modo meccanico
per caldi che sien ... nell' interno dei corpi non permise di
mi: esso pure ... di ciò che costituiva in questo siste-
per raffreddati ... la *capacità pel calorico* ne'vari corpi,
raffreddamento. ... dicevasi *calorico latente*, e per una certa di-
ci si presenter ... che correva tra i cultori dell' ottica e
questione dell ... di stato, non si erano ancora collegate insieme
... da formare una teoria unica e ben com-
... si aggiravano in un crepuscolo tra la vera e la
... usando termini di cui non si capiva il vero
... fisico.

... tardi cominciarono i meccanici teorici ad occu-
... calore come potenza motrice. Nel 1824 Carnot diede
... memorabile teoria della macchina a vapore, che fu punto
com... partenza e stimolo a novelle ricerche. Esso partiva
che ... principio che il calorico è una sostanza che si con-
vo... ... inalterata attraversando la macchina, e che produce
a ... moto nel suo tragitto. È manifesto che in tale teoria il
calore si dovea trovare eguale in tutta la sua quantità nei due
estremi di una macchina a fuoco, ma non si pensò a veri-
ficare coll'esperimento tale conseguenza, che fu poi trovata
falsa. Carnot fu seguito da Clapeyron (2) che ne svolse i

(1) V. le Istituzioni fisico-chimiche di G. B. Pianciani. Roma 1833 vol. 4. Appendice teoretica.

(2) Journal de l'École polytechnique. Tom. XIV pag. 153 cha. 23.

incipi e nel 1834 diè formole analitiche per valutare il avoro fatto dal calorico. È un principio fondamentale da essi ammesso che è impossibile il creare sia la forza motrice sia il calorico, e che era nel tragitto da un corpo caldo a uno freddo, che il calore svolgeva la forza meccanica.

Fin qui nulla accennava alla vera maniera del come il calore producesse il moto meccanico, e benchè il Montgolfier (nel 1822), e dopo lui Mayer medico alemanno (nel 1842) avessero parlato del calore come di un movimento o di una forza, ed esposte idee giuste, accennando anche all'equivalenza tra il calore e le forze meccaniche, pure non si cominciò a formare un concetto meccanico esatto del suo modo d'agire fuorchè dopo le esperienze di Joule, colle quali esso cercò di determinare con precisione con *qual proporzione il moto meccanico si trasformava in calore.* Egli fece i suoi primi esperimenti nel 1844 facendo agitare dentro l'acqua una ruota mossa da un peso. La temperatura a cui saliva l'acqua gli dava il calorico svolto, e l'altezza da cui cadeva il peso gli dava il modo da valutare il lavoro meccanico adoperato, determinandone il rapporto che si chiamò *equivalente meccanico del calore.* Questo soggetto fu presto studiato in tutti i suoi punti possibili, e ne risultò una teoria completa delle macchine più utili, che qui non è luogo di continuare ad esporre.

Nel mentre che questa teoria veniva svolgendosi si spinsero ad un eccesso contrario le idee sulla natura di questo movimento molecolare. Si volle che non esistesse sostanza alcuna di tal natura quale era ammessa da Fresnel, che dicevasi *etere* e ritenevasi anch'essa per *imponderabile:* si volle che la materia pesante ordinaria bastasse a spiegare tutti i fenomeni, anche la propagazione della luce, onde questa in fondo ricadeva nella teoria dell'emissione: si negò ogni principio imponderabile, e si confusero le nozioni di *materialità* e di *ponderabilità.* A suo luogo diremo di

tali idee nate dalla teoria meccanica del calore: per ora non è mestieri entrare a discuterle.

Una scuola nel resto assai diffusa e rispettabile è quella che considera il calorico non come una sostanza, ma come una *forza*, cioè un principio *sui generis* (come la *gravità*) da cui derivano tutti i fenomeni del calorico nei corpi. Questa scuola considera realmente i fenomeni del calorico come uno scambio di lavoro tra i corpi, partendo dal principio dell' equivalente meccanico del calore come da un fatto. Essa non merita che applauso in quanto che fa pel calore, ciò che la meccanica fa pei fenomeni celesti, cioè cerca di ridurli a legge senza analizzare la natura dell'agente. Tuttavia se ciò basta al geometra e al pratico, non è sufficiente pel fisico, il quale non solo cerca di farsi un' idea chiara dei fatti e delle leggi con cui agisce una forza, ma anche vuole investigare qual sia la sua indole. Quindi la gravità stessa lascia luogo a speculare intorno alla sua origine, benchè se ne conoscano perfettamente le leggi.

Pertanto secondo i principî della vera filosofia in cui, come diceva Ugenio (1), *tutte le cause de' fenomeni naturali si concepiscono per azioni meccaniche, se pure non vogliamo disperare di capire alcuna cosa in filosofia*, secondo dissi cotali principî noi dobbiamo cercare « *se sia possibile ridurre i fenomeni del calorico ad un mero scambio di movimento tra i corpi, senza ricorrere ad altro principio finchè questo non sia dimostrato insufficiente* ».

Nè ciò vieta che noi possiamo chiamare il calorico una *vera forza*, secondo la nozione di questa parola che indica la *causa* qualunque essa siasi *di un movimento*: tal causa come assolutamente parlando può essere uno

(1) Tractatus de lumine. Amstelodam. 1727. pag. 2. *Omnium effectuum naturalium causae concipiuntur per rationes mechanicas, nisi velimus omnem spem abjicere aliquid in physicis intelligendi.*

spirito puro, (come certamente lo è il più puro degli spiriti, cioè Dio Creatore da cui ogni forza e moto dimana), così può esserlo e aver questo nome anche una massa materiale qualunque animata da velocità. Infatti quando essa è messa in moto diviene capace di produrre un effetto eguale a quello che è stato speso a metterla in moto: essa può quindi vincere una novella resistenza, e con ciò fare un vero *lavoro* nel senso meccanico di questa parola, che è *vincere una resistenza per un determinato spazio in un determinato tempo. Lavoro* che anche si chiama *effetto dinamico* della forza, e che per ragioni di calcolo ha per misura la metà del prodotto della massa nel quadrato della velocità, che dicesi *forza viva*. Ecco a questo proposito come si esprime il Poncelet (1). *Un corps mis en mouvement, un certain effet dynamique (force vive) peut à son tour devenir une cause ou source de travail . . . L'inertie quand elle a été vaincue devient capable de restituer la quantité de travail dèpensé, de même que un ressort qui a été bandé. En un mot l'inertie comme les ressorts sert à immagasiner le travail mécanique en le transformant en force vive, de sorte que la force est un veritable travail disponible.* E altrove (2): *L'inertie sert à immagasiner le travail des moteurs en le convertissant en force vive, et à le restituer integralement ensuite lorsque cette force vive vient à être detruite contre ces resistences.*

Tanto è dunque dire lavoro, quanto effetto di movimento, e forza viva quanto massa animata da certa velocità: quindi la possibilità di convertire numericamente l'effetto di una forza in quello di un altra, mediante la quantità di lavoro meccanico che è propria di ciascuna: quindi anche la maniera di convertire un lavoro in un altro,

(1) Poncelet *Mèc. industr.* part. I. num. 124.
(2) Pag. 86 num. 138.

ossia per dirlo più comodamente un moto in un altro, conservando però equivalenti costanti. Così, per modo di esempio, un moto traslatorio si converte in rotatorio o in vibratorio, e il lavoro di un uomo che agita una campana si trasforma in moto vibratorio nell'aria nel quale consiste il suono.

Nè si dica che se il moto può nominarsi *forza* s' incorre in uno strano abuso di parole, confondendo la causa coll' effetto (1), perchè la distinzione sotto questo rispetto può nascere non da diversità di natura, ma da accidentalità di relazioni. Noi non ci arresteremo a queste sottigliezze e seguiremo l' uso dei fisici e il loro linguaggio. Per noi è assurdo (salvo sempre come si è detto il caso d' intervento degli enti spirituali) che il moto nella materia bruta abbia altra origine che dal moto. Noi rigettiamo que' principii detti *forze*, che non sono nè spirito nè materia, dei quali non è stata mai provata l'esistenza: essi ci sembrano mere astrazioni realizzate. Noi cercheremo di ridurre tutti i fenomeni a mero scambio e comunicazione di moto, e assumeremo questo scambio come un fatto primitivo la cui spiegazione sta nella natura della materia.

Il considerare adunque il calorico come un movimento non toglie di potersi valutare e nominare qual vera forza: ma come esso operi e come possano i moti comuni in esso trasformarsi e viceversa, è cosa che dobbiamo esaminarla con qualche estensione, e definire le varie specie di resistenze che deve vincere il calore nei corpi, ossia i varî lavori che deve eseguire (2).

(1) Questa obbiezione è fatta dal sig. Hirn. Ci dispiace di non potere essere d'accordo con questo sì distinto autore, tanto benemerito della teoria del calore, nè in questo nè in altri simili concetti esposti nella 7.ª parte dell'opera del resto eccellente. *Exposition analytique et éxpérimentale de la théorie de la chaleur.* Paris 1862.

(2) I meccanici pratici misurano il *lavoro* dal prodotto del peso alzato ad una certa altezza in una determinata unità di tempo. Questa

§. 3.

Conversione del moto in calore.

È antico assioma, che il *moto è causa del calore*, e volgari sono i fatti che ne dimostrano la verità, sia nell' attrito, sia nell' urto de' corpi. Però nessuno prima di Joule avea cercato con che proporzione il moto scomparso sotto la sua forma ordinaria corrispondesse al calore sviluppato; ossia nessuno avea cercato a *quanti chilogrammetri* di lavoro *corrispondesse una caloria*, cioè a quanta *forza* misurabile per l'altezza a cui si deve alzare un certo numero di chilogrammi, corrispondesse quella che per azioni meccaniche alza in pari tempo da 0° a 1° centigrado la massa d'acqua di un chilogrammo. Joule fu il primo che sperimentalmente lo determinasse per mezzo del meccanismo accennato di sopra, cioè di una ruota messa in moto dentro l'acqua per la caduta di un peso. Contro ciò che comunemente si credeva trovò che i liquidi si scaldavano pur essi per attrito, e malgrado la piccola quantità di calore

unità per il peso è il chilogrammo, per l'altezza è il metro, e per il tempo è il secondo, e dicono *chilogrammetro* il peso di un chilogrammo alzato ad un metro in un secondo di tempo. Quindi un cavallo potendo in un secondo di tempo alzare 1 chilogr. a 75 metri di altezza, la sua forza dicesi esser 75 chilogrammetri. Ciò è lo stesso che alzare 75 chilogrammi all'altezza di un metro, e perciò la valutazione non varia, essendo $1 \times 75 = 75 \times 1$. Chiamano poi forza viva il prodotto della massa m pel quadrato della velocità v cioè mv^2 e il lavoro è misurato dalla metà di questa forza viva $\frac{1}{2} mv^2$. Pei gravi essendo la forza di gravità $= g$ ed A l'altezza si ha $v^2 = 2g A$. Quindi sarà il lavoro $m g A$; e siccome il peso P è sempre espresso per $m g$, quindi il lavoro di alzare un peso si esprime per PA semplicemente, cioè pel prodotto del peso moltiplicato per l'altezza. Nei moti vibratorii essendo le velocità alternativamente in verso opposto, vi è un'altra ragione da considerare le loro forze vive, perchè così resta il prodotto indipendente dal segno.

svolto, colla delicatezza de' suoi strumenti dimostrò che per sviluppare una caloria, si richiedevano 428 chilogrammetri (1).

Questa è una forza enorme ed equivalente a circa 6 cavalli vapore. Quindi una macchina che avesse la forza di tal numero di cavalli consumando tutta la sua attività a scaldare una massa d'acqua di un chilogrammo, non ne alzerebbe la temperatura che di un grado ad ogni minuto secondo. E in generale quella forza che alzerebbe 428 chilogrammi d'acqua all'altezza di un metro in un tempo qualunque, se essa venisse impiegata ad alzarne la temperatura non l'innalzerebbe che di 1° centesimale in quello stesso tempo. Su questo principio sono state poscia costruite alcune macchine che utilizzando le cadute dell'acqua la riducevano in vapore per la forza loro meccanica. Ma in generale si vede che l'elevatezza dell'equivalente meccanico del calore rende tali macchine praticamente inutili, e che in tal caso è meglio utilizzare queste forze a comprimere l'aria.

Si credette dai primi fisici che fosse necessario un attrito molto forte e una scabrosità delle parti de' corpi per sviluppare calore per via meccanica: ma benchè tali scabrezze favoriscano nelle macchine ordinarie la consummazione della forza negli attriti piuttosto che nella parte utile, sviluppando effettivamente più calore ove manchino materie lubrificanti, pure le scabrezze non sono necessarie, e la macchina sopracitata svolge il calore richiesto, malgrado che sia unta per impedirne la pronta distruzione. Anzi il sig. Foucault con un esperimento, di cui parleremo a suo luogo, fe' vedere che la forza meccanica può convertirsi in calore mediante una resistenza esercitata per via singolare e fuori di ogni contatto visibile: cioè

(1) Anche il sig. Bianconi in Italia indipendentemente dal Joule avea trovato il riscaldamento de' liquidi pel moto. E i marinai sapevano che dopo una tempesta il mare era più *caldo*.

facendo rotare un disco di rame fra due poli di una potente calamita posti a piccola distanza dal disco medesimo. In questa macchina il disco si scalda fino a riuscire insopportabile alla mano, ma nel tempo stesso si esige una enorme forza meccanica a muoverlo, che valutata in chilogrammetri riproduce l'equivalente suindicato.

In ogni urto di peso che cade si produce calore, e tutti sanno come sotto i magli delle ferriere il ferro si mantiene rovente assai più a lungo che all'aria libera. Le piastre delle navi corrazzate colpite da una palla de' moderni cannoni diventano infocate. Il volgo crede in questi casi distrutto il moto, ma esso invece si è trasformato in altrettanto calore. In ogni caduta d'acqua si produce calore, e quindi le acque in moto gelano meno facilmente che le stagnanti. I motori idraulici danno il modo da far toccare con mano una tal produzione di calorico mediante la gravità. Stringendo col freno detto di Prony l' asse di uno di questi motori (1), quando la tanaglia è libera, la leva col peso pende verticale e giuoca sull' asse; ma strette che siano le viti, la leva è sollevata e si sostiene in direzione orizzontale malgrado il proprio peso e l' altro aggiunto. Così l' azione della caduta d' acqua è tutta impiegata a sostenere un peso proporzionato alla massa d' acqua che cade, ma intanto il lavoro dovuto alla velocità si fa sull'asse: le mascelle del freno sono fortemente riscaldate e presto vanno a fuoco se non si mantengono inaffiate da acqua fredda. Finora non si hanno mezzi esatti per calcolare in questo esperimento la quantità di calore in cui si è convertita la forza, ma è certo che essa è equivalente al lavoro della forza stessa motrice (2).

(1) Questo freno consiste in due pezzi di legno che uniti con viti formano una specie di tanaglia che può stringer l'asse del motore: ad uno de' pezzi di legno è attaccata una leva caricata di un peso.

(2) I pratici così stabiliscono la teoria di questo freno. Quando la leva è in equilibrio si ha l'eguaglianza de' momenti o prodotti

Era della più alta importanza il determinare l'equivalente meccanico del calore in modi diversi onde assicurarsi della sua costanza. Il sig. Hirn mise a profitto l'urto ordinario facendo un apparato in grande che somigliasse quanto più era possibile a quello che ordinariamente si usa ne' gabinetti fisici per la collisione de' corpi. I pezzi adoperati consistevano 1.° in una massa pesante di legno sospesa orizzontalmente a funi verticali chiamata *ariete*; 2.° in un altro masso di pietra pure sospeso nel medesimo modo chiamato *incudine*. I due pezzi erano ferrati ai capi, e si collocava tra di essi una massa di piombo avente un foro in cui introdurvi un termometro per esplorarne la temperatura prima e dopo l'urto. Questo apparato permetteva di calcolare con sufficiente esattezza la forza viva della caduta e del rimbalzo de' varii pezzi, e quella perduta nell'urto, e trasformata in calore. Da parecchi esperimenti di tal genere si trovò esser l'equivalente meccanico di 425 chilogrammetri.

Da altri esperimenti su la condensazione dei gas, su lo stiramento del ferro, sull'attrito del ferro fuso ec. risultò un valore di 432 (1) e il Zeuner assunse per valore

della leva l × pel suo peso p, coll'attrito f × pel raggio r dell'albero, ossia $pl = fr$, donde $2\pi pl = 2\pi rf$: ma il secondo membro esprime il *lavoro* (resistenza f × per lo spazio $2\pi r$), quindi il primo esprime pure la potenza della macchina. Ora questo lavoro di attrito precisamente sviluppa tanto calorico quanto richiede l'equivalenza calorifica della potenza e le calorie svolte saranno i chilogrammetri $2\pi pl$ moltiplicati per l'equivalente calorifico di un chilogrammetro $\frac{1}{428}$, ossia le calorie saranno $\frac{(2\pi pl)^{\text{km}}}{428}$.

(1) V. in Hirn (op. cit.) la lunga lista di tali risultati. Gli esperimenti sull'acqua sotto forti pressioni gli diedero 433.$^{\text{km}}$; l'urto de' corpi 425. Dall'espansione dei gas si ricava per limite inferiore 423 e per superiore 441,6. Anche la velocità del suono dà il medesimo valore dell'equivalente.

finale $A = 428^{km}$ per una calorìa, quindi per trovare il numero di chilogrammetri a cui corrisponde un certo numero di calorìe e viceversa, si avrà questa relazione $n\,C = n\,428^{km}$. E' l'equivalente calorifico di un chilogrammetro di lavoro sarà $\frac{1}{428}$ di calorìa, ossia $n 1^{km} = \frac{nC}{428}$

§. 4.

Conversione del calore in moto.

La conversione del moto in calore o per parlare in termini più generici la produzione del calore mediante il moto, cessando questo di esser apparente nella sua forma, non era troppo difficile a concepire: più lo era l'altra parte del fenomeno, cioè, lo sparire del calore nell'atto di produrre un movimento. Questo, secondo l'antica teoria che riguarda il calorico come sostanza, sarebbe stato impossibile ad accadere, ed era di somma importanza il verificarlo. Le esperienze però da questo lato sono men facili.

Per riconoscere l'importanza di questa soluzione, imaginiamo una macchina a vapore ridotta a stato di lavoro permanente, e in cui con opportuni mezzi si possa esplorare la temperatura del vapore prima del suo ingresso nel cilindro, e alla sua uscita dal medesimo, poichè basta la cognizione di tale temperatura per valutare la quantità di calore nel gas, e le perdite che fa nell'attraversare la macchina, senza che sia mestieri sapere nè la sua pressione, nè il suo volume. Nel caso che il calorico sia costante e non ne venga meno nulla affatto nell'atto del lavoro, questo vapore dopo aver servito a muovere lo stantuffo, potrà incanalarsi in altri tubi e recipienti, e servire a riscaldare altri corpi come avrebbe fatto il vapore uscito direttamente della caldaia. Vale a dire che si ricaverebbe tutto il vantaggio del vapore come causa termica,

più l' effetto meccanico del lavoro che sarebbesi ottenuto senza spesa di combustibile. Ossia in altri termini il lavoro si sarebbe avuto *gratis*. E come nulla impedirebbe che quel vapore caldo dopo passato pel primo cilindro potesse passare per quello di un altro motore, così si avrebbe un moto indefinito e veramente perpetuo, quando si potessero impedire le sole dispersioni di raggiamento. Anzi il moto perpetuo sarebbe realmente effettuabile, perchè questo secondo motore potrebbe per attrito produrre tanto calore quanto p. es. se ne disperde per raggiamento in ambedue, e così compensarsi le perdite accidentali, e prodursi tanta forza quanta ne assorbono gli attriti. Ora ognun vede che ciò è assurdo; bisogna dunque cercare se l' esperienza conferma o no questa identità di temperatura nel vapore all' uscita del cilindro con quella all' entrata.

Seguin prima, indi Hirn e Regnault provarono che realmente esisteva tal perdita di calore. Hirn con una macchina a vapore di 150 cavalli di forza in cui la quantità di lavoro restava costante, mentre le quantità di vapore variavano da 0,345 a 0,469 chilogrammi per secondo, trovò una perdita di 38 calorie, salve minime differenze nelle varie esperienze, malgrado la grande variabilità della quantità del vapore che attraversava la macchina in pari tempo. In un altro esperimento con altra forza di 116 cavalli trovò 29 calorie di meno. Con un' altra macchina di 90 cavalli trovò una diminuzione da 20 a 21 calorie, mentre le quantità di vapore variavano da $0.^{k}190$ a $0.^{k}229$ (1).

Regnault ha ripetuto e variato queste esperienze, e in una macchina a vapore lavorante a 5 atmosfere, di 653 calorie che entravano nel cilindro trovò che se ne perdevano 16 cioè $\frac{1}{40}$: in un' altra 34 ossia $\frac{1}{20}^{mo}$ del totale (2).

(1) Hirn op. cit. pag. 93.

(2) Regnault *Comptes Rendus de l'Ac. des sciences de Paris* T. XXXVI pag. 676.

Il fatto adunque di una perdita di calore per il lavoro o effetto meccanico prodotto dalla macchina è innegabile. È vero che è difficile da tali esperimenti dedurre in cifre l'equivalente meccanico del calore, ma ciò deriva dalla difficoltà in cui si è di valutare *tutto* il lavoro meccanico fatto dall'apparato; ma assicurandosi di una parte di esso, dalla costanza di questa parte, si può vedere che essa è *indipendente dalla quantità di vapore circolante e solo dipende dal lavoro eseguito.* La macchina a vapore utilizza certamente poco calorico, come meglio vedremo appresso, ma la parte perduta nel lavoro è tanta che non può confondersi colle mere perdite per raggiamento, nè colle inesattezze che sono inevitabili in tali esperimenti. Il ciclo delle operazioni che fa l'acqua in una macchina è tale che la rende opportunissima a stabilire tale costanza tra gli equivalenti calorifico e meccanico. Infatti l'acqua da forma liquida entra nella caldaia, ivi si evapora, e si saturá di calore (1), entra nel cilindro dove perde una parte di questo calore pel lavoro meccanico che fà, quindi l'altra va al condensatore, dove tornato il vapore in acqua liquida, da una tromba è preso e rimesso nella caldaia. Tale ciclo di operazioni non altera la natura del fluido nè le sue proprietà chimiche, e dalle semplici differenze di tensione del vapore nei varii stadi del corso, può valutarsi la variazione di temperatura dovuta all'effetto meccanico che produce nell'interno della macchina.

Gli animali sono vere macchine caloriche ancor essi e sotto certi rapporti devono esser soggetti alle stesse leggi. Gli esperimenti fatti da Hirn sopra sè stesso, o pure sopra altri, provano che in occasione di un lavoro dinamico si attiva la respirazione, onde si consuma una quantità mag-

(1) Questa espressione è piuttosto presa in prestito dalla vecchia teoria; ma come esprimer la cosa meglio e più brevemente? *Sit* dunque *verbo venia.*

giore di ossigeno, e quindi si produce una quantità maggiore di calorico nell'interno della macchina animale. Tuttavia misurando quanto sia il calorico che trovasi effettivamente nel corpo umano, esso è assai minore di quello prodotto dall' attivata combustione. Hirn in uno esperimento trovò una mancanza di 436 calorìe, in un altro 330, e calcolando con una il lavoro effettivo dell' altra esperienza trovò un accordo perfetto tra il calcolo e l' osservazione (1).

La macchina ad aria riscaldata di Ericssón dimostrò ancor essa col suo modo di operare la perdita di calore pel lavoro meccanico, e questo principio è la base di tutte le teorie odierne delle macchine mosse dal fuoco.

In somma qualunque sia il modo con cui si determina l' equivalente meccanico, ne risulta sempre lo stesso valore, e questa costanza benchè messa in controversia da principio e stimata variamente dietro alcuni inesatti esperimenti, è ora riconosciuta da tutti i meccanici e specialmente dal sig. Hirn che fu uno de' più energici oppositori.

Carnot avea stabilito per principio fondamentale che « ogni qualvolta vi è trasporto di una certa quantità di calore da un corpo caldo ad un corpo freddo, vi corrisponde come equivalente una certa quantità di lavoro, purchè non accada verun cambiamento definitivo nello stato del corpo intermedio e *la quantità di calore in azione resta costante* »; ma quanto è vera la prima parte di questa proposizione, tanto è falsa la seconda, e realmente *sparisce una quantità di calore proporzionale al lavoro eseguito*, il che si vedrà anche meglio dopo che avremo esaminata più addentro la corrispondenza dei due ordini di fenomeni.

(1) Hirn op. cit. pag. 83.

§. 5.

Costanza dell'equivalente meccanico del calore e sue conseguenze.

I fatti finora esposti dimostrano che il moto distrutto e il calorico generato sono in reciproca connessione di causa ad effetto, e che esiste un rapporto unico e costante tra le quantità positive o negative di lavoro, e le quantità acquistate o perdute di calore. Ma si cerca se questa connessione sia tale che il moto sparito come traslatorio possa rappresentarsi come moto vibratorio calorifico, secondo le idee di una vera trasformazione, a quella guisa che essendovi meri scambii di movimenti tra masse urtantisi, il moto di una dicesi trasformarsi in moto di un' altra; come per esempio l'urto di un martello su di una campana si trasforma in moto vibratorio in essa e nell' aria circostante. A rispondere a tale sottile domanda gli esperimenti succitati possono esser stimati insufficienti dai più difficili filosofi, perchè molti non godono di una vera reciprocanza, altri non sono esattamente valutabili in cifre; quindi è mestieri sviluppare un poco questo soggetto.

Primieramente devono distinguersi due specie di lavoro che può operare il calorico: uno è lavoro *esterno*, l'altro *interno* al corpo stesso. Quando un gas chiuso in un cilindro si dilata e solleva uno stantuffo pesante o caricato di un peso, questo fà ambedue questi lavori: l'esterno è l'elevazione del peso, l' interno è la dilatazione e lo spostamento delle particelle del gas medesimo. Lavori interni del calorico sono inoltre tutti i cambiamenti di stato che opera ne' corpi, e le loro dilatazioni, e a questa classe si riduce il superare che esso fa i vincoli delle attrazioni molecolari. Ciò posto è indubitato che deve sussistere una perfetta reciprocanza tra il lavoro prodotto e il calorico assorbito ogni qualvolta non si produce lavoro estraneo, ma tutto lo

scambio e il movimento succede nell' interno del sistema. Ciò è una necessaria conseguenza del principio della conservazione della forza viva, il quale vuole che qualunque movimento succeda in un sistema per le pure azioni reciproche delle sue parti, la somma delle forze vive resti invariabile. Ora se il calore e il lavoro si convertono uno in altro reciprocamente, come il lavoro si valuta sempre colla metà della forza viva $\frac{1}{2}MV^2$, così in un sistema, qualunque siasi la mutazione interna delle sue parti e il lavoro che vi si fa, la temperatura non deve punto variare. L' esperienza ha verificato questa conseguenza, ma prima di esporla è mestieri accennare ad alcuni fatti importanti che accadono nel variare di volume e densità dei gas..

Primieramente è stato dimostrato dalla esperienza di Regnault che qualunque sia la pressione a cui è assoggettato un gas, uno stesso peso ha sempre la medesima capacità pel calorico. Questa legge è esatta per quelli che diconsi gas perfetti, ma pei vapori che sono gas poco lontani dal loro punto di liquefazione essa soffre delle eccezioni; ma può valutarsi la variazione di tale capacità. I gas perfetti possono dirsi appena tre, l' idrogene, l'ossigene e il nitrogeno, quando siano separati e puri; misti sono ancor essi soggetti a delle eccezioni. Ma prescindendo da queste, risulta, *che la capacità calorifica dei gas perfetti è la stessa a tutte le temperature;* quindi non si può spiegare, come si è fatto da alcuni, la variazione di temperatura che mostrano i gas quando variano di volume colla variazione di capacità. Imaginiamo il caso che il gas sia chiuso in un cilindro terminato da uno stantuffo mobile, e che questo vi possa scorrere senza attrito, ritirando lo stantuffo in modo che cresca la capacità del recipiente del doppio, il gas si dilata e la sua temperatura si abbassa: tale diminuzione nasce dal lavoro esercitato dal gas a lanciare nel nuovo spazio le proprie molecole. Ma la cosa andrebbe molto diversamente se il gas per dilatarsi

dovesse passare per un angusto pertugio in cui soffrisse attrito, poichè allora il gas si scalda assai nel luogo ove soffre frizione e desta molto calore: così avviene che mentre in una parte dell' apparecchio succede dilatazione e freddo, nell' altra si eleva la temperatura. Viceversa quando un gas si comprime, si desta calore svolto dal lavoro meccanico della forza comprimente. Il separare tutti questi elementi nei diversi casi pratici è molto difficile, e le nostre esperienze sono sempre intaccate da errori, talchè può dubitarsi che in qualche caso non avvenga distruzione di calorico in un corpo all' atto del passaggio da uno stato all' altro per i lavori interni, cioè senza nessun effetto apparente. Ma la seguente esperienza di Joule fa vedere che quando non vi è lavoro esterno vi è sempre compenso rigoroso tra il calore svolto e il lavoro prodotto internamente da esso, e che questo stesso lavoro si converte in calore con proporzione rigorosamente equivalente, onde per tali lavori interni non varia punto la temperatura del sistema, come vuole il principio della conservazione delle *forze vive*.

L' esperimento è questo. Il sig. Joule chiuse in un recipiente d' acqua due globi di robusto metallo di circa un piede di diametro comunicanti insieme per una chiave. In uno A l'aria era compressa a 10 atmosfere, l'altro B era vuoto. La temperatura dell' acqua era esplorata colla massima diligenza. Aperta la chiave di comunicazione l'aria si mise ad equilibrio di pressione nei due globi, e la temperatura dell'acqua rimase stazionaria. Tal fatto analizzato convenientemente conduce all'esposto principio.

Quando si apre le chiave, l'aria del recipiente A si rarefà e si produce freddo, come rilevasi direttamente mettendo il globo A solo nell'acqua. Invece nel globo B l'aria dilatata ha la minor temperatura dovuta alla sua espansione (come avrebbe nel cilindro collo stantuffo menzionato sopra) e benchè venga compressa da quella che so-

praggiunge e perciò sviluppi calore, siccome in fine il sistema rimane dilatato, sembra che tutto debba riuscire ad avere minore temperatura. Come dunque questa rimane costante? la ragione si ha nel lavoro meccanico fatto in questo passaggio. Le particelle del gas sono lanciate dal 1° nel 2° globo come proiettili che nel primo istante hanno una velocità di quasi 600^m per secondo: questa velocità va sempre diminuendo finchè le pressioni si eguagliano. In tal passaggio nasce un urtarsi delle molecole e un vibrare che deve alzare la temperatura di B. L'aria di A somministra dunque del lavoro, e questo lavoro è a spese del proprio calore: esso è tale che al foro dove passa l'aria realmente si ha una elevatissima temperatura, come ha dimostrato Joule con altri esperimenti. Questo calore svolto in B si comunica alla massa intera, e ne eleva la temperatura in modo che il sistema ha una compensazione dell' abbassamento che subirebbe per la rarefazione. Questo lavoro cioè si riconverte in calore nel gas dilatandone il volume ossia alzandone la temperatura di tanto di quanto essa si sarebbe abbassata per l'espansione. Siccome non vi è lavoro esterno, quindi la compensazione è perfetta nello stato finale del sistema, benchè sia evidente che nelle varie parti per un certo tempo vi debba essere disquilibrio (1).

La sperienza di Joule è stata con pari successo ripetuta da Regnault, ma siccome essa poteva esser soggetta alla obiezione che la quantità di calore svolto o mancato era minima e che male sarebbesi potuta misurare, quindi M. Hirn pensò a trasformare tutto l' apparato in una specie di termometro differenziale usando un tubo separato in due camere da una membrana e condensando mediante una tromba l'aria in una parte di tanto, di quanto la rarefaceva nell'altra; indi fatta la comunicazione delle camere colla rottura della membrana, e aprendo tosto la comu-

(1) Hirn op. cit. pag. 102.

nicazione col manometro, trovò che la temperatura restava costante e il manometro indicava dopo la tensione segnata prima che l'aria fosse stata trasportata. Avendo le debite avvertenze di aspettare che tutto rientri alla temperatura di prima e che svanisca il calore prodotto all'atto della azione della tromba, l'esperimento può venire eseguito in modo da essere perfettamente concludente, e tale da indicare una variazione di 0.° 02 nella temperatura se questa avesse luogo per una condensazione di $\frac{1}{2}$ atmosfera.

Queste esperienze facendo vedere che la somma delle forze vive si conserva costante nel sistema malgrado i lavori interni e le corrispondenti variazioni di temperatura, ci sembrano anche dimostrare che quella quantità di calore che sparisce nelle esperienze ordinarie delle macchine mosse dai gas rarefatti è trasformata in altro moto, ossia diviene velocità di traslazione di masse finite quella che era velocità di vibrazione nelle particelle elementari, e viceversa che le velocità di traslazione delle masse finite si possono trasformare in velocità vibratorie di masse infinitesime (1).

Per convincerci meglio che le cose passano a questo modo, e che vi è una vera porzione del moto che anima il gas come calore che si trasforma in lavoro, consideriamo la cosa sotto un aspetto più semplice ma non meno vero.

Immaginiamo un cilindro impermeabile al calorico in cui si possa muovere uno stantuffo senza attriti, ma caricato di un peso, che potrà essere la pressione atmosferica. Se per fissare le idee supponiamo che l'area dello stantuffo abbia un metro quadrato, la pressione totale sarà

(1) Anche le vibrazioni suppongono una *qualche traslazione*, onde a tutto rigore tale distinzione non sarebbe adequata: noi l'usiamo nel senso lato che usasi comunemente in cui i moti si distinguono in vibratorii e traslatorii: non avendo altre parole ci serviamo di queste.

praggiunge e perciò sviluppi ; volume dell' aria dentro al
ma rimane dilatato, sembra ... . e scaldiamo quest' aria
minore temperatura. Come ... Siccome i gas si dilatano
la ragione si ha nel lavo ..., bisognerà alzarne la tempe-
saggio. Le particelle ... stantuffo sarà salito di un me-
2° globo come proietti' ... chilogramm. di lavoro esterno,
velocità di quasi 600 ... ella dilatazione del gas. Immagi-
sempre diminuendo fi ... al gas altrettanto calore di prima
passaggio nasce un n ... orni alla primitiva temperatura, e
deve alzare la ten ... ndo lo stantuffo in modo che segua
dunque del lavoro ... l' aria talchè la gravità non operi a
lore: esso è tale ... domanda se la temperatura e quindi la
una elevatissim ... ume del gas saranno adesso quali erano
altri esperimen ... esperienza? La risposta è facile: se esse
massa intera. si sarebbe ottenuto un' innalzamento di un
ma ha una ... za e spesa alcuna, il che è assurdo. Quindi
per la rar ... rà minore, e precisamente di tanto che di-
lore nel ... l lavoro fatto per l' equivalente meccanico e
peratura ... cità del calorico propria del gas, si avrà il grado
l' espan ... arà abbassata la temperatura. Il calore resi-
compe ... = 205.°99 donde 272,°85 — 205.99 = 66,86 (1).
benc ... diminuzione si spiegava per un aumento di capa-
tem ... a tale spiegazione è ora dimostrata falsa, restando
... e la capacità dei gas. Rimane adunque che questa
p ... ità siasi realmente trasformata in lavoro. Oltre l'equi-
... nza costante del lavoro e del calorico sparito, l'espe-
rienza ha messo anche in evidenza un altro principio che
l' esser tale equivalenza indipendente dalle sostanze in-
termedie al lavoro. Così p. es. si era creduto da principio
che usando vapor d' etere solforico si sarebbe ottenuta eco-
nomia di combustibile nelle macchine, attesa la volatilità
di tale sostanza. L' esperienza ha disingannato e la teoria
l'avea già accennato. La forza meccanica non dipende dalla

(1) Hirn pag. 17.

-iore o minore facilità con cui il corpo entra in dila- ..e, ma dalla quantità di calorico trasformata, e que- per ottenere uno stesso effetto dinamico deve esser la essa, altrimenti si avrebbe la forza creata dal nulla.

Il concetto però di tale trasformazione rimane oscuro a molti, e quindi si stenta ad ammetterlo; cerchiamo di facilitarne l'intelligenza.

Noi valutiamo le temperature colla espansione de' volumi de' corpi e non altro; invece valutiamo il lavoro meccanico in chilogrammetri: tra queste quantità come si stabilirà una relazione? Facciamolo vedere con un esempio familiare: supponiamo che ci venga proposto di valutare l'equivalente meccanico de' tremori sonori dietro basi analoghe. La forza meccanica del martello percuziente si valuterà al solito; ma come valutare quella del tremore armonico? Uno de' mezzi potrebbe essere di misurare l'ampiezza di oscillazione di una parte del corpo vibrante, mediante per esempio l'escursione che facesse l'immagine di un lume riflessa da uno specchietto attaccato al corpo sonoro, come si fa nelle esperienze di Lissajous sui *diapasons* o coristi vibranti. Tal mezzo sarebbe esattissimo, e avremmo facilmente un coefficiente di trasformazione di un moto in un altro, e tanti chilogrammetri nella percussione equivarrebbero a tanti altri millimetri nella escursione. Questo numero esprimerebbe *l'equivalente meccanico del suono.* Certamente non vi è nè identità di misura nè di specie tra questi due elementi, eppure è fuor di dubbio che uno è connesso coll' altro non solo con connessione di causa ed effetto, ma anche con principio di trasformazione assoluta di moto nel modo il più manifesto (1).

(1) Nell'esposizione d'industria a Parigi vi era una immensa campana sostenuta da tal congegno che ne rendeva sì agevoli i movimenti, che malgrado la sua mole un uomo solo bastava ad agitarla, ma senza sonare. Chi la faceva vedere esaltava a cielo perciò l'ingegnoso meccanismo e l'avrebbe voluto introdotto per risparmio di

Così *a pari* le dilatazioni termiche, prodotte dalle escursioni molecculari possono servire a valutare la forza meccanica che le produce, e viceversa. Noi abbiamo le dilatazioni termometriche per misura delle vibrazioni moleculari de' corpi, e queste sono in rapporto non solo costante colla forza meccanica che le produce o che esse producono, ma tali che la distruzione delle une involge una produzione delle altre, onde ragionevolmente possiamo concludere esservi una vera trasformazione. L'idea di questa trasformazione è adunque ovvia ed ha riscontri in altri fatti della natura: il che è tanto vero che lo sviluppo storico, come pure lo sviluppo logico della questione sulla natura del calorico, sono partiti dalla teoria del calore radiante e dall'analogia de' tremori luminosi e calorifici con quelli del suono, senza il cui aiuto il solo equivalente meccanico non avrebbe forse dato nozioni sufficienti per formarsi un' idea chiara di ciò che è il calorico ne' corpi. Il parallelo tra il suono ed il calorico considerati amendue come moti vibratorii è stato spinto da taluni tanto avanti fino a credere che i suoni manifestati da alcuni corpi caldi in certe circostanze siano effetto dalle vibrazioni calorifiche (1). Questo è

fatica in tutte le torri. Un ecclesiastico buon geometra presente disse che avrebbe voluto veder la stessa prova, ma facendola sonare: non tutti capirono la differenza e meno degli altri quello che faceva l'elogio del meccanismo: se si fosse fatto l'esperimento sarebbesi trovata una assai grande diversità. La campana percossa dal battocco a controtempo nella sua discesa viene arrestata: una porzione della velocità acquistata nella caduta è distrutta da quell'urto, e dessa non salirebbe dall'altra parte alla stessa altezza come fa girando a vuoto, in cui non incontra altra resistenza che degli attriti. La forza viva perduta nell'urto è comunicata all'aria e trasformata nel moto vibratorio che costituisce il suono, o come direbbesi più semplicemente è *trasformata in suono.*

(1) Gli esperimenti di questo genere sono assai semplici una medaglia di rame riscaldata con una lucerna a spirito posta su di un' incudine o altra massa di metallo elastico produce un suono;

andar troppo oltre se intendasi di effetto diretto, poichè i suoni così prodotti sono sì gravi che suppongono vibrazioni immensamente più lente di quelle che devono concepire le molecole nelle vibrazioni calorifiche; onde essi sono mero effetto secondario sia della dilatazione dell'aria frapposta, sia degli ineguali movimenti de' due corpi a contatto, uno de' quali si dilata e l'altro si restringe, i quali producendo un saltellamento nel corpo lo fanno vibrare. Ad ogni modo però tali suoni sono un argomento per provare che le parti del corpo sono in somma agitazione; la quale agitazione non venne mai messa in controversia nemmeno da que' fisici che ammettevano gli ignicoli penetranti i corpi come Galileo ed Ugenio (1).

In conclusione, l'esame riunito tanto de fenomeni del calor radiante, quanto dell'equivalente meccanico ci fa manifesto essere il calorico un mero moto vibratorio delle molecole. La misura dell'energia di tal vibrazione si desume dalla dilatazione prodotta, cioè dal lavoro eseguito, e quindi si considera la temperatura come in ragione della forza viva del sistema. Questa vibrazione in alcuni casi non è meramente oscillatoria, ma congiunta con moto violento di proiezione: e questo è il caso dei gas, nei quali le molecole in qualunque sistema o teoria sono animate da forze ripulsive, o da un'espansione per cui urtano violentemente tutti i corpi che loro si affacciano; quindi nulla di più semplice ed ovvio, se non se che esse in tale urto perdano una porzione della lor forza comunicandola agli oggetti che vengono effettivamente smossi, quando questi sono tali da cedere, e così si capisce come la temperatura e la forza espansiva di un gas debba diminuire facendo un lavoro qualunque. Come poi tal

lo stesso fanno corpi di altra figura e l'esperimento oggi è notissimo.

(1) Galileo Dial. I. Scienza nuova p. 15. ed. Bologna 1655. Huyghens de lum. loc. cit. sopra.

forza espansiva possa concepirsi nei gas e come gli venga comunicata, è altra questione, ed è appunto qui, dove non potendo noi vedere e toccare, dobbiamo supplire col raziocinio, fondandoci sempre su le idee finora acquistate col mezzo dei fatti (1).

§. 6.

Idea generale degli stati diversi de' corpi nella teoria dinamica del calore. E prima dello stato gassoso.

L'opinione più ricevuta finora dalla generalità dei fisici sulla natura de' corpi è così espressa dal Poisson (2). « Tutte le parti della materia sono sottoposte a due specie di azione mutua. Una è attrattiva indipendente dalla natura dei corpi, proporzionale al prodotto delle masse e in ragione inversa del quadrato delle distanze: essa si estende indefinitamente nello spazio, e produce tutti i fenomeni di equilibrio e di moto che riguardano la meccanica celeste. L'altra è attrattiva o repulsiva: essa dipende dalla natura delle particelle e dalla loro quantità di calorico: la sua intensità decresce rapidissimamente quando aumenta la distanza, e diventa insensibile appena la distanza si fa sensibile. I corpi sono formati di molecole disgiunte, vale a dire di porzioni di materia ponderabile d'una grandezza insensibile separate da spazi vuoti o pori le cui dimensioni sono pure impercettibili ai nostri sensi. Le molecole sono così piccole e ravvicinate una all'altra che una porzione di un corpo che ne racchiude un nu-

(1) Sopra a pag. 19 si è detto che col freno di Prony si potrebbe determinare l'equivalente meccanico. Trovo che effettivamente ciò è stato fatto dal Favre ed ha ottenuto per suo valore 413 chilogr. Vedi *Comptes Rendus* ec. tom. XLVI p. 337, 15 febr. 1853.

(2) Journal de l'École polyt. 20 Cahier pag. 4.

mero estremamente grande, può ancora supporsi estremamente piccola e il suo volume insensibile . . . . Indipendentemente dalla materia ponderabile di cui è formata, ciascuna molecola rinchiude inoltre una certa quantità della materia imponderabile a cui si attribuiscono i fenomeni del calore . . . . La quantità di calorico nel vuoto deve essere considerata come insensibile in proporzione di quella che sta aderente alle particelle materiali, poichè secondo le sperienze di Gay-Lussac restringendo o dilatando rapidamente uno spazio vuoto non si ha variazione alcuna di temperatura ».

È poi una conseguenza del calcolo delle forze attrattive che l'azione di una molecola possa considerarsi come composta di due parti, una proveniente dalla massa generale e quale si avrebbe se la forma sua fosse sferica, o la massa fosse concentrata nel centro di gravità, l'altra che deriva dalla distribuzione di questa materia stessa, ossia dipende dalla sua forma. Questa produce delle azioni secondarie che riescono sensibili solo alle minori distanze, e ad esse viene attribuito lo stato solido e cristallino dei corpi. Quando siano allontanate le molecole per la dilatazione cessano cotali azioni di esser sensibili e l'attrazione e ripulsione sono in equilibrio, allora il corpo è liquido, e finalmente diventa gassoso se prevale la ripulsione del calorico. Tale è il concetto dello stato de' corpi nella teoria finora ammessa del calorico sostanza.

Esclusa però che sia tale sentenza, necessariamente deve sostituirsi un elemento che serva a dar luogo ai fenomeni attribuiti alla ripulsione, e questo non sarebbe che il moto o l'agitazione delle parti del corpo stesso. Per ciò che spetta le attrazioni, sul momento noi ne riterremo il nome come espressione di un fatto, ma vedremo a suo luogo come debbano concepirsi, e come possano avere anch'esse origine dal moto. Per ora faremo osservare come preliminare che il fatto citato da Poisson del non aversi nel vacuo

segno di esistenza di calorico, è già ben favorevole alla nuova teoria, essendo evidente che ove manca materia, ivi non può essa trovarsi in moto. Resta solo ad esporre come dobbiamo concepire questo movimento nell' interno dei corpi.

La forza espansiva indefinita dei gas suggerisce naturalmente l' idea che le loro molecole siano dotate di un movimento di proiezione, che le provoca ad allontanarsi indefinitamente le une dalle altre. Questa proiezione dovuta ad un urto ricevuto, si deve conservare per la semplice loro inerzia quando si trovino in uno spazio libero, e quivi per essa si separerebbero indefinitamente, ma nei recipienti limitati sono costrette a collidersi reciprocamente e ad urtare le pareti da cui sono rinchiuse. Però in tale collisione se le masse fossero prive di ogni forza interna i loro moti si estinguerebbero, ed esse in certo modo si agglutinerebbero come fanno i corpi duri de' meccanici: quindi gli autori di questa teoria, come Clausius ed altri, hanno dotato gli atomi di una elasticità, onde possano rimbalzare nell' urto reciproco e in quello contro le pareti, conservando così tutta la loro forza viva. Ma è evidente che se tale forza elastica può ammettersi qual forza secondaria nata da altre primitive in un aggregato di atomi, o in una molecola composta, essa non può ammettersi per gli atomi elementari. Infatti, l' elasticità concepita al modo ordinario esige uno spazio vuoto interno nella molecola che cambia di forma comprimendosi per poi restituirsi, mentre per lo contrario è condizione de' veri atomi l' esser concepiti come impenetrabili e non mai come riunioni di altri solidi: quindi non possono avere vuoti interni in cui ristringersi o dilatarsi le parti. È vero che ciò che noi diciamo molecola di un gas *semplice*, ossia *chimicamente indecomposto* non è un *atomo* primitivo, o almeno può non esserlo, quindi essendo un aggregato di veri atomi, potrebbe benissimo quel composto avere cotali vuoti inter-

e in generale avere delle proprietà che non trovansi nei componenti, e perciò non è assurdo ammettere una tale elasticità. E così di fatto l' ammise Ugenio per l' etere, i cui corpuscoli suppose composti di altri più minuti. Ma ben guardando tutto, ciò non fa che indietreggiare la difficoltà senza toglierla. Noi crediamo potere assumere che non è punto necessario ammettere tale forza elastica per forza primitiva, ma che la ripulsione apparente di questi atomi, e il loro rimbalzo può nascere unicamente ancor esso dal moto, e per ciò basta supporli in rotazione.

Tra i bei teoremi scoperti da Poinsot sulla teoria dell' urto de' corpi rotanti, vi è quello della loro *riflessione* all' incontrare che fanno un ostacolo resistente: vale a dire che per la sola rotazione un corpo *duro* e *non elastico* può rimbalzare come un corpo perfettamente elastico. Anzi vi è la curiosa proprietà che uno di questi corpi lanciato contro un ostacolo fisso può rimbalzare con maggior velocità di quella che avea quando lo colpiva. L'acuto matematico fa rilevare come questo, che a prima vista pare un paradosso, dipende da ciò, che in tal caso è una porzione del moto rotatorio che si trasforma in traslatorio, onde ne nasce un aumento di velocità del centro di gravità, cosa che sarebbe assurda secondo le teorie ordinarie dell'urto de' corpi, in cui non si tiene conto del moto di rotazione. Oltre il caso di una vera *riflessione* vi è quello che Poinsot chiama di *progressione*, che potrebbe anche dirsi *riflessione negativa*, ed è quando il centro di gravità del corpo si precipita avanti dopo l' urto con velocità maggiore di quella che avea prima (1). Queste cose che formano un ramo tutto nuovo e interessantissimo di mecca-

(1) Vedi Poinsot. *Questions dynamiques sur la percussion des corps* pag. 21 e 29 dell'edizione a parte, ed anche il Giornale di Liouville. È degno di somma attenzione il bel teorema che lega tutti i centri di gravità, di rotazione, di riflessione, di percussione e di conversione, che trovasi a pag. 36.

nica si dimostrano facilmente componendo i due moti di rotazione e di traslazione considerati rapporto ai centri di gravità, di rotazione, e di percussione, e si arriva facilmente a capire che *generalmente parlando* con un urto semplice qualunque, è impossibile annientare in un corpo ad un tempo stesso i due moti di rotazione e di traslazione: perchè se l'urto è eccentrico potrà annientare la rotazione e non la traslazione, e se l'urto passa pel centro di gravità potrà annientare la traslazione, ma non la rotazione, anzi la quantità di moto perduta in una maniera potrà esser guadagnata nell'altra. Così pure potrà *rovesciarsi* la rotazione, o accelerarsi, secondo il punto in cui sarà colpito il corpo, il che dà luogo ai centri di *conversione*. Esempi di tali riflessioni nell'urto de' corpi rotanti sono ovvii nei dischi lanciati dai discobuli e nelle palle gettate a rimbalzo (ricochet), nelle percosse date alle trottole giranti ec. I giocatori di bigliardo ben sanno quanto la rotazione delle palle modifichi le leggi dell'urto de' corpi elastici.

Volendo pertanto attribuire alle molecole un competente movimento, è mestieri attribuirlo loro *rotatorio* insieme e *traslatorio*. Anzi se ben si considera, la sola elasticità ordinaria attribuita alle molecole dei corpi non basta a spiegare pienamente i fenomeni della propagazione del calorico. Infatti è proprietà di un movimento eccitato in un mezzo elastico, cioè composto di masse di tale specie, che se non trova un ostacolo estraneo, o una variazione di densità esso *non ritorna mai indietro*, e produce un'onda sempre progressiva. Ora così non accade pel calorico. Se si tiene a contatto coll'estremità di un tubo orizzontale pieno di gas, o di una sbarra metallica una sorgente calorifica per un certo tempo, il moto calorifico si propaga per la loro lunghezza; ma rimossa che sia la sorgente, il capo riscaldato non resta freddo, come resterebbe in quiete una colonna d'aria o una verga metallica dopo

rimosso un corpo vibrante posto a quel sito, e come dovrebbe accadere in un mezzo meramente dotato del modo di propagazione nei mezzi elastici ordinari. Bisogna dunque dire che pel calorico vi è un altro modo di trasmissione di moto, che fa ritornare indietro il movimento, e lo diffonde per tutta la massa, e questo pare che non possa essere che quello che nei moti rotatorii si dice di *progressione* e l'altro di *conversione*.

Supponendo dunque tali rotazioni vedremo che tranne i casi specialissimi in cui due molecole si urtassero proprio secondo l'asse permanente di rotazione, esse sempre rimbalzeranno dopo l'urto o in modo positivo o negativo come sopra si è detto, ma certamente non resteranno insieme prive delle loro rotazioni, nè delle loro traslazioni. Se l'asse non è permanente, nemmeno questo caso sarà possibile; ma tale possibilità non è da negarsi assolutamente, e nella teoria della costituzione de' corpi potrebbe spiegare alcuni importanti fenomeni.

Infatti supponiamo il caso estremo quale è l'urto di due atomi dotati soltanto di moto traslatorio o che si urtino talmente che non possano rimbalzare: in tal caso è manifesto che questi due atomi resterebbero agglutinati insieme come i corpi *duri* de' meccanici, formando così un sistema dotato di moto commune residuo di traslazione, che potrà agire come corpuscolo unico di massa doppia o tripla o in generale multipla dell'atomo semplice, secondo che due o più atomi primitivi verranno così congiunti. Abbiamo così il caso manifesto di un aggregato di massa multipla mantenuto unito non in virtù di alcuna attrazione, ma per la semplice inerzia; unione che forma una certa coesione, perchè non cederà se non ad una forza estranea che basti a superare l'inerzia con cui le parti di quella massa composta camminano unite.

Noi non pretendiamo che questo solo principio basti a spiegare la coesione de' corpi, ma diciamo che apparisce

ga un modo semplice di spiegare alcuni casi di unione della materia. Quindi si rileva ancora la necessità di distinguere tra varie combinazioni di questi atomi.

1.° Gli *isolati* e *primitivi*, che sarebbero da appellarsi unicamente col nome di *atomi*.

2.° Gli aggregati *multipli* di atomi che esser possono di forme più o meno complicate, e potrebbero dirsi *molecole elementari* e forse al loro diverso aggruppamento devonsi le varie specie di sostanze chimiche finora indecomposte, e chiamate *semplici*.

3.° Le riunioni di tali molecole elementari in cui consistono le molecole de' chimici composti, che a tutto rigore dovrebbero distinguersi con nome speciale e potrebbero dirsi *molecole chimiche*, o se vuolsi *eterogenee*; intendendo però che l' eterogeneità nasce piuttosto dalla diversità di aggregazione elementare, che non da vera eterogeneità di sostanza per ragioni che esporremo a suo luogo.

4.° Finalmente dalle aggregazioni delle molecole o omogenee o eterogenee ne nascono le *particelle* de' corpi, che aggregate nel modo che diremo appresso possono dare origine alla *molecole integranti* de' cristallografi.

Senza astringerci a usare sempre in senso rigoroso i termini precedenti secondo le date nozioni, ci atterremo a tale distinzione quanto più sarà possibile, soprattutto ogni volta che la chiarezza del discorso lo richiederà.

In conclusione adunque rispetto ai corpi gassosi è manifesto che non è mestieri ammettere in essi altre forze repulsive salvo quelle dipendenti dal movimento moleculare e che possono risparmiarsi le forze elastiche.

E pertanto cessa la necessità di ammettere nella materia questi agenti misteriosi, pei quali la minor difficoltà è di assegnare il limite ove cessi la loro azione per dar luogo al principio antagonista che è l' attrazione.

Un fatto degno di osservazione è che nessun corpo resiste senza decomporsi all' aumento indefinito di calorico,

e dopo vinti i legami che lo rendono solido, e spintolo fino ad esser gassoso, in fine si risolve nei suoi principii elementari per semplice dissociazione, come fra poco vedremo; ma mentre questa forza è così energica alle piccolissime distanze, essa si annulla affatto nelle grandi, e niente indica che essa sia punto sensibile a distanze percettibili. Ora ciò non và d'accordo colla forza antagonista dell'attrazione, la quale riesce sensibile a distanze grandissime sotto l'aspetto della gravità. Questo fatto pertanto che nelle vecchie teorie non può spiegarsi altrimenti che ammettendo dei limiti arbitrarii, discende spontaneo dalla teoria meccanica, cessando necessariamente ogni repulsione a quel limite ove cessa la collisione, e questa cessar dovendo ove finisce il limite dell'escursione moleculare. Questo limite nei gas è amplissimo, ma nei liquidi e solidi, è certamente ristrettissimo, cioè quanto corre da molecola a molecola.

Vi sono alcune proprietà meccaniche che sono caratteristiche di tutti i fluidi e specialmente degli elastici, delle quali si deve dare ragione in ogni teoria: tale è per esempio la *pressione idrostatica*. Ora di questa non è difficile far vedere che deve aver luogo in un mezzo così costituito, come noi supponiamo un gas, cioè formato di atomi in continua agitazione. Esso infatti non solo deve essere espansivo indefinitamente, ma anche esercitare una percussione eguale in tutte le direzioni, nel che consiste la suddetta *pressione*. Infatti imaginando che la violenza dell'urto o la somma delle particelle che si urtano in qualche punto della massa fosse minore che nel resto, in quella parte le molecole troverebbero minor resistenza, e perciò colà si dovrebbe portare una porzione della materia, e accelerarsi così il movimento in quella parte. Quindi il moto intestino tende ad un regime uniforme, o eguaglianza di intensità, che forma una specie di *equilibrio dinamico* in cui cioè tutte le parti del mezzo sono animate da identica velocità,

ed hanno come dicono egual *forza viva* , e quindi esercitano un urto o una pressione eguale in tutti i versi.

Pertanto secondo il principio della teoria meccanica del calore che la temperatura dipende dalla quantità di azione, o di forza viva che sta in ciascuna particella , ossia che essendo ogni molecola animata da certa velocità, l' energìa del suo urto diviene la misura della temperatura : ne segue che essendo assai alto il numero dell'equivalente meccanico del calorico tale quantità di azione o forza viva nei gas deve esser enorme, e quanto prima ne rintracceremo l'espressione numerica. La comunicazione del calorico da un corpo all'altro sarebbe la comunicazione di questo stesso movimento, e la tendenza del calorico all' equilibrio consisterebbe nella tendenza detta di sopra, che ha il moto di tal natura ad egualmente diffondersi nella massa intera. La comunicazione poi e l'aumento di questa forza viva può farsi nei corpi o per mezzo di agitazione meccanica o per quella di chimiche azioni di cui parleremo a suo luogo, ma sempre per modo che il corpo che ne ha più la ceda a quello che ne ha meno; come appunto nella communicazione del moto. Quando il gas è messo in contatto con un corpo che ha meno forza viva di lui, gliene cederà porzione, e per la diminuzione nata si ristringeranno le escursioni che le particelle facevano liberamente per tutta la massa : e viceversa si aumenteranno se il corpo l' ha maggiore.

§. 7.

Dello stato liquido e solido de' corpi.

È un fatto fondamentale nella scienza che per successiva sottrazione di calorico ogni corpo gassoso si converte in liquido e poi in solido. I pochi casi eccezionali de' gas permanenti non provano altro al più, se non che il loro punto di liquefazione è più basso di quello che noi

possiamo ottenere coi nostri mezzi artificiali. Ogni diminuzione di temperatura ne porta una eguale nel moto intestino, e ogni diminuzione di questo deve produrre un ravvicinamento: perchè diminuita l'impulsione, diminuisce l'escursione delle molecole, e allora possono operare le pressioni nate dalle forze attrattive o dall'impulsione delle parti circostanti, siano esse ponderabili o imponderabili. È manifesto che per continuate sottrazioni di velocità, questa potrà ridursi al punto che la molecola non possa più uscire dalla cerchia delle circonvicine, e che allora si troverà obbligata ad oscillare in curve chiuse più o meno regolari. Allora cesserà questo moto espansivo, e il corpo acquisterà lo stato liquido, e la gravità trovando le molecole destituite di proiezione e di velocità superiore a quella che essa può loro imprimere, farà prevalere la sua azione e il sistema acquisterà una forma di livello dipendente principalmente dalla gravità medesima (1). Alla superficie libera però ove le particelle non hanno sfera eguale di azione da tutti i lati potranno più facilmente isolarsi ed ubbidire alle forze di proiezione e passare a stato elastico ossia evaporare.

Nello stato liquido gli assi rotatorii probabilmente devono esser diretti per tutti i versi, ovvero possono anche essere di posizione instabile: la distanza poi delle molecole sarà tale che una non entri ancora nella sfera di attività dell'altra, come dicono quelli che ammettono le attrazioni. Tutte le forze essendo in equilibrio le molecole cederanno al minimo impulso e avranno la mobilità caratteristica dei fluidi.

Continuando a sottrarsi calorico dal corpo, cioè a diminuire la velocità delle molecole, avverrà che essendo ravvicinate ancora più, l'una entrerà nella sfera d'azione dell'altra, onde per le attrazioni dovute alle figure loro tenderanno ad orientarsi e disporsi regolarmente per formare

(1) L'atmosfera terrestre stessa all'ultimo suo limite sotto questo aspetto fu detta dal Poisson costituire un *liquido*.

il solido e perderanno la loro mobilità. Nella teoria puramente dinamica in cui non si ammettono tali attrazioni considerate come forze dirette, la spiegazione dipende ancora dalla diminuzione delle distanze, ma in altro modo.

Abbiam detto sopra che dalla semplice collisione di più atomi può nascerne pel moto commune una connessione analoga alla coesione. Un esempio ovvio di questa connessione l'abbiamo nelle vene fluide, che quando escono da un orifizio non per altro modo rivestono la forma unita di un solido se non perchè le varie molecole sono animate da pari velocità; e se questa sia enorme, come nei getti che escono da recipienti sotto altissime pressioni, al tatto stesso non che all'occhio appaiono solide e resistenti come se fossero di un sol pezzo. Ma questo principio solo secondo noi non basta a spiegare i fenomeni della coesione. La completa meccanica interna de' corpi richiede qualche cosa di più. Per ora basti dire che i fatti fin qui esposti non escludono nè le forze dette attrattive tra le molecole de' corpi, nè l'azione estrinseca di una pressione esercitata dall'etere frapposto alle molecole o agli atomi, la quale non è impossibile che possa essere la vera causa della coesione dei corpi composti. Tale opinione non è sì nuova e strana quanto pare a prima vista. Galileo credeva la cosa spiegabile considerando meramente l'impossibilità del vacuo (1). Ciò era certamente erroneo considerando l'azione dell'aria sola. Ora però che le nuove scoperte ci hanno dimostrato esistere un mezzo ben più penetrante e diffuso che non è l'aria, possiamo almeno domandarci, se non potrà esso contribuire a tale effetto? Dovendo esporre questa materia a lungo in altro luogo, qui ci limitiamo a darne un cenno.

Si può concepire che ogni molecola ponderabile rotando rapidamente attorno al proprio asse, formi come un vortice nell'etere circostante di raggio minimo, ma eguale

(1) Dialoghi della scienza nuova. Giorn. I. pag. 14. Cf. Grove *Correl.* pag. 175.

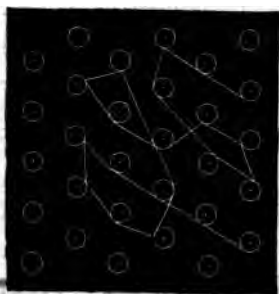
a quello che dicesi raggio di sfera d' azione molecolare, producendo così una diminuzione di pressione che l' etere circostante tende a riempire. Ora è evidente che uno di questi vorticetti non può entrare nei confini dell' altro se non quando la distanza delle molecole sia divenuta minore della somma de' raggi di questi stessi vortici : ma diminuita la distanza oltre tal limite uno entrerà nella sfera dell' altro, e la coesione potrebbe nascere dal riunirsi diversi di questi vortici in un solo o dall' esser molti piccoli involti in uno maggiore. In tale ipotesi si direbbe, che ravvicinate le molecole, una entrerà nel vortice etereo che circonda l'altra, e allora le rotazioni aiutate dall' influenza meccanica di questo mezzo tenderanno a dispor si parallelamente cogli assi in direzioni determinate dipendenti dai momenti d' inerzia delle molecole stesse. Così avrà luogo un inviluppo o sfera di azione comune che forma il legame costitutivo dei solidi e che determina le cristallizzazioni. Siccome è principio geometrico che con sfere uguali non si può uniformemente empire spazio nelle tre dimensioni, quindi necessariamente si avranno sempre vani diversi nelle varie direzioni che spiegheranno le infinite varietà delle forme cristalline. Si potranno anche avere le rotazioni attorno assi stabili, o variabili di posizione e dotati di moti che dicono di precessione, i quali contribuiranno a dare la sterminata varietà delle proprietà fisiche de' solidi, relative alla loro densità, tenacità, elasticità ec.

Tale è l' idea generale dei tre stati principali de' corpi nella teoria dinamica del calorico, e che è mestieri di sviluppare e provare; confrontandola coi dati dell' osservazione.

Questa teoria fu già abbozzata da Cauchy fino dal 1839; il quale annunziava questo moto di proiezione dei gas aggirantisi in orbite o rivoluzioni, e quello dei liquidi e solidi in mere oscillazioni, col solo riflettere al calorico assorbito

nell' evaporazione (1). Clausius poscia proclamò più assolutamente ancora nei gas tale forza di proiezione, e un moto orbitale o rotatorio nei liquidi e nei solidi. L' idea de' piccoli vortici moleculari è ora molto gradita ai fisici che ammettono l'etere. L' hanno ammessa Rankine, Rodtenbacher, Challis e altri, nè perciò credettero punto di cader nei vortici cartesiani, benchè forse non con tutte le condizioni che sono necessarie, e che noi verremo sviluppando meglio al suo posto. Per ora basti questo cenno; e ripetiamo ancora una volta che chi trovasse tale idea de' vorticetti poco gradita può, almeno pel momento, ritenere le antiche attrazioni, finchè siasi dimostrato che cosa debba dirsi di queste. Per adesso non è affatto mestieri assumere tale ipotesi, ma basta ammettere coll'universale dei fisici che gli atomi abbiano tale tendenza ad unirsi, pigliandola come un fatto, che non è negato da nessuno.

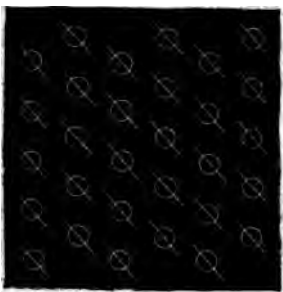
Per dare una idea di tali movimenti nell' interno nei corpi mettiamo qui sotto tre figure relative ai tre stati, nelle quali è delineato il corso che farebbe una molecola nell' interno della massa relativamente alle altre considerate come fisse.

Fig. 1.ª

Nella figura 1.ª la linea poligona serpeggiante indefinitamente, rappresenta l'escursione relativa della molecola in un gas. Questa passa liberamente da un sistema all' altro di molecole, urtandole e riflettendosi positivamente o negativamente, e aggirandosi appunto come alcuni astronomi credettero potere accadere nelle comete iperboliche, che passino da uno all'altro sistema stellare.

(1) V. *Comptes Rendus* vol. IX.

Fig. 2.ª

Le orbite chiuse della fig. 2.ª esprimono l'oscillazione della molecola in un corpo liquido. Esse sono senza asse stabile di rotazione, la loro orbita è ristretta alla cinta delle vicine; il moto traslatorio non si ha in questo sistema fuorchè col rimescolamento di tutta la massa. L'orbita quì è esagonale perchè si è supposta la distribuzione delle molecole in un piano esser fatta a triangoli equilateri, ma questa può essere assai differente.

Fig. 3.ª

La fig. 3.ª rappresenta lo stato solido in cui le molecole devono immaginarsi anche più ravvicinate che nella figura precedente e aventi gli assi di rotazione diretti parallelamente, e inoltre che più atomi si trovino inclusi in una sfera d'azione commune. I loro moti sono più ristretti che nei liquidi, e inoltre ridotti a semplice oscillazione senza nessuna traslazione in orbita sviluppata, essendo impedito ogni rimescolamento della massa.

Prima di progredire crediamo necessario il dare la soluzione di una difficoltà. Se il calorico consiste in tali urti e collisioni, com'è che a lungo andare esso moto non si estingue? La risposta che danno comunemente oggidì i fisici è, che come il moto senza causa non si può generare così nemmeno senza causa non si può distruggere; in una parola essi ammettono il moto indistruttibile come la materia, e che se tardi si persuase il volgo degli uomini che questa non si annientava, malgrado il divenire impossibile in certi casi dimostrare il contrario, così finiranno di capire che nè anche il moto si annienta. La quantità di azione che

lo produsse da principio ossia la *forza prima* resta indistruttibile nel sistema. Il moto, effetto di questa, si trasforma e si cambia da traslatorio in vibratorio o rotatorio, passa da uno all'altro corpo, suddividendosi e diffondendosi in modo che a noi è praticamente impossibile rintracciarlo negli estremi confini dello spazio, ma non si annienta. Per essi la produzione di un moto esige una creazione, come la produzione della materia. (1)

Noi non assumiamo la responsabilità intera di tale risposta, ma diciamo che senza entrare nella questione metafisica sulla possibilità o no della distruzione del moto, questo però può sempre praticamente vedersi che si conserva, ed è sempre rintracciabile nei suoi effetti e nelle sue origini, anche dove sembra sparire o crearsi repentinamente. « Una massa di carbone che brucia fa nascere del calore direttamente, della forza meccanica indirettamente. Donde viene questa forza?.... Nella formazione dei vegetali l'acido carbonico è la materia donde deriva il carbonio della pianta, e il raggio solare è l'agente che separa gli atomi, mettendo l'ossigene in libertà, e permettendo al carbonio di trasformarsi in fibra legnosa. Lasciate cadere il raggio solare sulla superficie della sabbia, questa è scaldata e raggia finalmente all'esterno il calore che ha ricevuto; lasciate cadere questi raggi medesimi su di una selva, la quantità di calore che essa raggerà sarà minore di quella che ha ricevuto, perchè l'energia d'una porzione dei raggi solari è impiegata a far crescere gli alberi nella maniera che è stata indicata. Senza l'intervento del Sole la riduzione dell'acido carbonico non può aver luogo, e quando esso vi è intervenuto, egli ha speso una quantità di luce esattamente equivalente al lavoro moleculare effettuato. Così sono formati gli alberi; e così quando s'infiamma il cotone, l'ossigeno si unisce al suo diletto carbonio, e la sua com-

(1) Grove *Correl. des forces physiq.* pag. 259 e conclusione finale dell'opera pag. 265 in fine.

bustione fa nascere una quantità di calore eguale a quella che il Sole avea perduto per farlo vegetare. » (1) Così argomenta in tal materia un celebre fisico, e può applicarsi questa dottrina a tutti i fenomeni della natura legati da maravigliosa concatenazione.

Nè ciò è difficile a comprendere dietro la ragione generale con cui succede tale scambio, perchè essendo gli ultimi atomi come si è detto o dotati di elasticità perfetta secondo il sistema finora più comune, o almeno nell'altra ipotesi essendo dotati di rotazione che equivale ad una elasticità, conservasi sempre intatta nel sistema la quantità assoluta di forza viva, e anche quella che sembra sparire come moto traslatorio si converte in rotatorio, onde non vi è mai vera distruzione nè anche meccanicamente parlando. Così non vi ha mai vera creazione di moto benchè possa sembrare talora questo esser il caso, come in meccanica nei rimbalzi de' corpi rotanti, i quali dopo l'urto possono aver velocità traslatoria maggiore di prima.

Non può negarsi però che malgrado la giustezza della dottrina esposta finora, alcuni trovano strano che si dica conservarsi il moto, mentre vedono fermarsi i corpi, onde vorrebbono piuttosto detto, esser la forza quella che si conserva. Ma in ciò vi è un altro inconveniente; perchè di qui corre la mente a immaginare esser la forza qualche entità indipendente dalla materia che passa da uno all'altro corpo, quasichè esistesse in essi qualche principio attivo analogo a quello per cui si genera in noi l'idea della forza? Infatti se bene si guardi, la nozione di *forza* o attività esteriore si genera nel nostro spirito ad occasione dello *sforzo* che noi dobbiamo esercitare per muovere i corpi, la qual sensazione puramente subiettiva potè far credere che un *conato* simile esisteva nei corpi, come in essi altre volte si imaginarono principii calorifici, odorosi, sonori, ec.

(1) Tyndall V. *Cosmos* di Moigno Vol. 21, pag. 275.

A rischiarare questa discussione torna in acconcio ricordare la tanto nota dottrina del Galileo ». Che nell'universo fisico e sensibile non vi è che materia in moto o in quiete. Nella materia non si può concepire se non figura grandezza e cangiamento di continuità. Subito infatti che si concepisce una materia o sostanza corporea si concepisce insieme che ella è terminata o figurata da questa o quella figura, che ella in relazione alle altre è in moto o sta ferma ec. (1) ». E come esso da ciò inferiva non esser nei corpi odori, sapori, colori, ma solo certi movimenti o figure capaci di produrre in noi quelle sensazioni, altrettanto si può dire della forza; cioè che è unicamente nei corpi una tal causa che desta in noi la sensazione dello *sforzo* quale è mestieri fare per fermare un corpo in moto, o metterne in moto uno in quiete, e questa come già vedemmo non è che la massa animata da velocità.

Benchè dunque la cosa non possa esser soggetto di controversia spiegati che siano i termini, pure si è creduto bene dal Rankine introdurre un vocabolo nella scienza che serva a schivare tali apparenti contraddizioni. Egli propone di usare la parola *energia* per indicare la metà del prodotto mv^2, che comunemente dicesi forza viva, e che anche dicesi lavoro. E dà per ragione, che essendo la parola forza da molto tempo usata per indicare la tendenza di due corpi a cambiare di moto relativo, è falso che ad essa si possa applicare il principio di conservazione, ma che ciò che resta costante è solo il prodotto de' suddetti fattori (2).

Non tutti ancora hanno adottato questa innovazione, ma siccome si seguita a usare la parola *calore* per indicare il *calorico* senza scrupolo, così sarà per un gran pezzo dell'altra di conservazione di forza viva o di conservazione del movimento.

(1) V. questo luogo commentato estesamente dal Zantedeschi nella sua Prelezione per l'anno 1851 pag. 23 Venezia.

(2) V. Rankine B. U. *Arch. Sc. nat.* 1859 vol. 5 pag. 68.

Del resto a mano a mano che studieremo i fenomeni ci si farà manifesto nei casi particolari come si verifichi tale conservazione. Qui diremo soltanto che un'obiezione desunta dal difetto della nostra intelligenza di un qualche fenomeno particolare, non basterebbe a distruggere ciò che una serie numerosissima di fatti ci insegna. Bisogna distinguere nella scienza le teorie dalle leggi: la meccanica del calore è ancora allo stato di teoria, cioè di tentativo diretto a collegare i fenomeni di questo agente per via meccanica: essa incontrerà certamente le sue difficoltà e avrà i suoi difetti, finchè passi a stato di legge. Ma con tutto ciò noi la preferiamo a quelle altre teorie, che per escluder qualche difetto cadono nel massimo de' difetti che è il nulla, perchè realmente dopo averci tenuti un pezzo sospesi sulla natura delle forze, concludono che non ne sappiamo nulla. Conclusione che se onora il filosofo ove manchi fondamento alla deduzione, lo degrada ove derivi dal non saper intendere il linguaggio della natura.

§. 8.

De' fenomeni che manifestano il moto intestino della materia, e la sua forza repulsiva.

Prima di passar oltre alla spiegazione de' fenomeni dipendenti dal calorico nell'esposta teoria, sarà bene esaminare qual fondamento abbia nella sperienza quella espansibilità della materia che ne forma la base, e mostrare quanto questa sia generale, e come si manifesti pure in quei casi in cui non sembra influirvi il calorico, ma che pure ad esso devonsi rivocare.

Le molecole della materia sono così minime che non è possibile percepire isolatamente i loro moti coi nostri sensi, nè della vista benchè armata de' più potenti microscopi, nè del tatto il più squisito. Tuttavia vi sono dei fenomeni che bastano da loro soli a mettere in evidenza

una forza che fu detta *ripulsiva*, perchè, come diceva Davy, tende ad allontanarne le particelle in certe circostanze in cui o non è manifesta l'azione del calorico per temperatura elevata, o almeno gli effetti suoi sono fuori di proporzione con quelli ordinari della temperatura.

Sono notabili quelli della diffusione dei gas alla comune temperatura. Ha dimostrato recentissimamente Graham (1) che se un tubo terminato superiormente da una sottil lamina di grafite artificiale, e immerso nella parte inferiore nel mercurio si empia di idrogeno alla pressione ordinaria, questo sfugge pei pori della grafite in modo che il mercurio si alza nel tubo di parecchi pollici. Mentre esce l'idrogene l'aria entra, ma in proporzione assai minore, cioè di un quarto. Se usinsi gas di natura meno diversa, il fenomeno succede in diversa proporzione, e solo lo scambio è eguale pei gas che sono di quasi identica natura e mobilità. Ciò dipende evidentemente da quella espansibilità o forza diffusiva che è propria di questi corpi, ma siccome essa è diversa per la velocità differente delle loro molecole, così diversa è la facilità con cui attraversano la lamina porosa. Tale facilità può servire di mezzo per separare un gas dall'altro e in certo modo setacciarli. L'idrogene ha mobilità 3.74 volte maggiore dell'aria, e 4 volte più dell'ossigene, e ciò combina con quanto aveano già da altri fatti concluso i fisici sulla sua mobilità.

Nei corpi non gassosi tali effetti di ripulsione sono sopratutto sensibili alle superficie libere, perchè l'impulsione del movimento moleculare non essendo ivi bilanciata per tutti i versi, le molecole sono facilmente proiettate fuori della sfera d'azione delle vicine che non le dominano che da un lato solo, e perciò tali azioni sono anche più energiche sugli spigoli in cui le molecole sono libere da più lati.

Il primo fatto che merita attenzione è l'evaporazione de' liquidi, anche a temperatura assai inferiore a quella della

(1) V. *Comptes Rendus* 27 Juill. 1863 Tom. LVII pag. 181.

loro ebollizione, nella quale la tensione del vapore supera la pressione sovrastante. Tutti i liquidi come è noto evaporano alla temperatura ordinaria, perfino il più stabile di essi il mercurio, come lo provarono le esperienze delle foglie d'oro sospese nelle bottiglie a certa altezza dal suo livello. Gli esperimenti elettrici mostrano che il vuoto torricelliano non è che un vuoto assai imperfetto, a cagione di questo vapore. E cotesta evaporazione non è esclusiva dei soli liquidi, ma molti solidi evaporano sensibilmente, come il ghiaccio, lo iodio, il fosforo e una infinità di materie animali. Così in molti corpi creduti fissi la diffusione o sublimazione riesce sensibile sopratutto se continuata per lungo tempo. A tutti sono note le impronte dette di Moser che accadono tra i corpi posti a piccola distanza, e sono attribuite a una volatilizzazione (1). Tale forza cresce enormemente colla elevazione di temperatura, o col porre il corpo in istato di tensione elettrica. Il Zantedeschi ottenne delle impronte simili a quelle di Moser da corpi reputati fissi, come certi ossidi metallici, esponendoli nelle fornaci delle stoviglie ad alte temperature. L'odore che manifestano alcuni metalli anche a freddo tradisce la loro volatilità. Infiniti sarebbero i fatti se volessimo invocare la tensione elettrica, che come vedremo non è che uno stato esaltato di queste vibrazioni della materia. Accenneremo solo che i reofori di platino di un tubo di Geissler assoggettati per molto tempo all'azione elettrica, si trovano tutti corrosi e le particelle del metallo depositate sulle pareti del vetro. La difficoltà di fare un vuoto perfetto dipende specialmente dalla volatilità de'mastici usati per chiudere le giunture. Nei tubi di Gassiot (in cui il vuoto si ottiene dopo replicate riempiture de' recipienti coll'acido carbonico, e col fare assorbire le ultime tracce di questo gas dalla potassa caustica dopo l'esaustione della macchina pneumatica) basta un leggier riscaldamento

(1) V. Bizio Dinamica chimica Tom. I.

della potassa per rendere il recipiente luminoso e permeabile alla elettricità, cioè produrre una diffusione di materia ponderabile che si manifesta col passaggio dell'elettrico.

La pressione meccanica dell'atmosfera e de' liquidi si oppone immensamente a tal diffusione, ma non l'annienta. Graham ha recentemente studiato la diffusione dei sali, delle gomme e dello zucchero nei liquidi, e ha veduto che si diffondono lentamente sì, ma energicamente; e il Bizio avea fatto osservare da molto tempo che tale diffusione conduce ad ammettere una tendenza delle particelle di un corpo a cacciarsi tra i pori dell'altra, come a un dipresso fanno i gas.

Alla superficie esteriore dei liquidi in contatto dei solidi si esercitano pure certe azioni che non hanno le loro equivalenti nell'interno: tali sono le azioni dette di capillarità, per ispiegar le quali è mestieri assumere una differente densità superficiale del liquido, che determina una variazione di forma nella superficie di livello colà dove esso bagna il solido.

Questa forza ripulsiva o espansiva si manifesta in modo speciale nei veli liquidi che diffondonsi alla superficie de' fluidi. Quando una goccia d'un olio fisso o volatile (come l'essenza di trementina) si pone sulla superficie dell'acqua pura, essa si diffonde istantaneamente in un ampio velo leggiero e sottilissimo, vivamente colorato colle tinte iridate degli anelli neutoniani. Ma diffusa che sia una di queste gocce, quel velo impedisce ad un altra di diffondersi egualmente. Simile fenomeno accade col potassio, che posto sul mercurio sembra svanire, ma alitando sopra di questo, il vapore d'acqua che viene espirato è decomposto dal potassio, e la potassa formata coll' ossigeno apparisce come un tenuissimo velo bianco sull' argento vivo. Lo stesso potrebbe osservarsi in tutte le sostanze se fosse possibile distinguerne i primi veli all'atto che si mescolano.

Un'altra classe di fatti assai curiosa è quella dei movimenti che presentano certi liquidi all'atto del mescolarsi

o del combinarsi. Si stenda un velo d'acqua su di una lamina di cristallo alto circa 2 millimetri, si lascino cadere sopra l'acqua alcune gocce di alcool, e quella sarà respinta immediatamente a grande distanza dal luogo ove è caduto l' alcool; ma all' intorno dove mescolansi i due liquidi si scorge grande agitazione finchè l' acqua abbia ripigliato il il posto di prima. Sono notissimi i movimenti dell' acido valerianico nell'acqua, del potassio e della canfora che bruciano sull'acqua stessa ecc. (1).

Questi fatti ed altri molti che ommettiamo, mostrano che nell'atto stesso che alcuni corpi insieme si uniscono, entrano in tale stato di movimento da dare idea di una forza energica che ne agiti la massa. Queste agitazioni succedono nell'interno di tutte le masse in ogni combinazione chimica, ma nei casi addotti operando alle superficie libere sono più attive e mettono in evidenza il movimento assoluto delle particelle che le dispone alla riunione, che così effettuasi più facilmente. Tale attenuazione, movimento ed espansione della materia, osserva giustamente il Bizio, deve precedere la combinazione stessa e l' azione chimica, e può vedersi nella sua opera un'ampia serie di fatti che qui non possiamo riportare, donde si conclude che uno stato attenuato della materia è predisposizione indispensabile all'azione chimica di tutte le sostanze, per cui questa non può stimarsene la cagione, perchè l'effetto non può preesistere alla causa. Questa diffusione è aiutata soltanto indirettamente dall' azione chimica, in quanto che questa toglie di mezzo le parti svaporate precipitandole o allontanandole, che se esse restassero al posto farebbero osta-

(1) V. in Bizio *Dinamica chimica* Tom. I. più altri fatti specialmente pag. 31. e segg. Non citiamo i fatti dell'acqua a stato sferoidale, perchè questi sembrano piuttosto provare che uno strato di vapore si frappone fra il liquido e il corpo incandescente, che ne impedisce il contatto, di quellò che dimostrare una vera forza ripulsiva a distanza.

colo ad un ulteriore diffusione o sublimazione, formando sul luogo una specie di atmosfera che impedisce il disgregarsi delle altre.

La forza diffusiva come si è detto deve riuscire più efficace in proporzione della sfera libera che hanno le molecole, quindi quelle che sono agli spigoli de' corpi e agli angoli solidi devono subirne più efficacemente l'effetto, ed è a tutti noto come col triturare e moltiplicare la superficie de' corpi si faciliti la diffusione e l'evaporazione loro, non meno che la soluzione e l'azione chimica, come anche accade nella diffusione elettrica. Questa azione diffusiva non ha mestieri per esser spiegata che si ricorra ad una forza diversa da quella che abbiamo detto costiture il calorico, e basta riflettere come realmente tali azioni crescono e operano in proporzione dell'agitazione termica e in ragione che diminuiscono gli ostacoli meccanici estrinseci, per convincersi che questi fenomeni non sono che effetti della medesima causa, più o meno attiva secondo le circostanze della posizione relativa o della libertà in cui sono le molecole.

Questa forza ripulsiva si è, non a torto, creduta essere in piena attività nelle comete, nelle quali come in corpi di piccolissima massa deve esser minima l'attrazione della gravità propria su le singole molecole che le compongono. Nelle nostre ricerche sperimentali, noi possiamo certamente distruggere le pressioni esteriori sui corpi, come per esempio quella dell'atmosfera, ma non possiamo distruggere nè diminuire la gravità: se potessimo riuscire a togliere ancor questa di mezzo, i fenomeni della ripulsione sarebbero ben altrimenti energici. Ora nelle comete mancano ambedue queste azioni quasi completamente, e perciò in esse deve agire con somma attività. Convengono ormai gli astronomi che è impossibile colla sola gravitazione dar conto delle forme che vestono questi astri, ma che si richiede per ciò una componente di forza *repulsiva* dipendente dal calore e dalla loro distanza dal sole. Alcuni esperimenti di M. Faye

sembrano convalidare questa dottrina. Egli vide l'arco voltaico nel vuoto respinto violentemente da un corpo caldo. Questa forza però è tale che sembra quasi elettiva e variabile nelle diverse comete e non basta esprimerla per un semplice termine di segno opposto all'attrazione solare. La multiplicità delle code, la rapidità della lor formazione, e sopratutto il moto manifesto col quale i getti lucidi da prima diretti verso il sole, si rovesciano indietro come respinti da esso, mostrano un principio di azione tutta speciale, della quale non si saprebbe trovare l'analoga che nelle ripulsioni calorifiche ed elettriche (1). Non potrebbe accadere in questi corpi per la semplice azione calorifica del sole quella espansione e diffusione di materia, per ottenere la quale noi dobbiamo prima distruggere la pressione atmosferica nei nostri recipienti, e poi vincere la gravità e la coesione ponendo la materia in una condizione sommamente espansiva per mezzo dell'elettrico? Tale opinione ci pare assai ragionevole, e possiamo assicurare che quanti hanno osservato i fenomeni luminosi nel vuoto tutti hanno sentito vivamente l'analogia di que' splendori e di quelle espansioni colla luce delle comete.

Potrebbe anche spingersi più oltre il pensiero, e applicarsi a questa forza repulsiva la sublime teoria dell'attenuazione della materia, già abozzata da Newton nelle sue *Questioni* aggiunte all'ottica (2) e fatta rivivere da dotti fisici italiani in questi ultimi tempi. Considerando il calorico come un moto che anima la materia, noi troviamo primieramente che per l'agitazione moleculare i gruppi compatti e legati de' solidi separansi, e acquistano la mobilità dei liquidi: da questo stato continuamente passano all'aeriforme, e ciò anche a temperature bassissime, e fino quando sono so-

(1) Veggansi sopratutto le figure della cometa 2.ª del 1862 nel *Bullettino meteorologico del Coll. Rom.* 1862 *anno I. n.* 19 ove è manifesto il regresso dei getti e l'alternativa da una sera all'altra e la variabilità dentro poche ore.

(2) Newton *Opt.* quaest. 22 pag. 319 e 320 ediz. cit.

lidi; e benchè la lor forza non sia tale da vincere completamente le soprastanti pressioni, pure le molecole si fanno strada tra gl'interstizi de'mezzi prementi. Elevando l'agitazione, sia con accrescere la temperatura, sia con mezzi elettrici, si riesce a scomporre le riunioni de'corpi elementari, anche senza l'intervento di un terzo corpo che ne coadiuvi la separazione. L'ultimo passo che resta a fare sarebbe di dissociare anche questi gruppi che formano le molecole de'corpi elementari creduti semplici, aumentando le vibrazioni degli atomi che le compongono. In tal caso che sarebbe della materia? Ci presenterebbe essa più le proprietà della materia ponderabile? Newton sospettava che allora essa si sarebbe trasformata nella materia sottilissima della luce e del fuoco, e noi diremmo che « *si sarebbe trasformata in quella che chiamiamo etere imponderabile.* » (1)

Noi non anticiperemo qui ciò che dobbiamo dire e sviluppare altrove, e solo concluderemo questa discussione preparatoria sulle forze repulsive coll'osservare, che stando all'induzione de'fatti lo stato primitivo e naturale della materia ci sembra esser non quello di solidità, coesione, e connessione di legame, ma piuttosto quello di libertà e indipendenza assoluta di ciascun atomo dall'altro, e che le forme dipendenti dai legami sono piuttosto avvenitizie, e le credute forze che li generano possono esser effetti indiretti dei movimenti di cui è dotata la materia. Il che come possa immaginarsi accadere, l'esporremo a suo luogo. Ora continuiamo la spiegazione de' fenomeni principali del calorico considerandolo come forza meccanica.

(1) Nel mandare questo foglio alla stampa trovo nel *Mondes* la stessa idea proposta dal Sig. Gaudin il quale riguarda l'ultimo atomo elementare isolato come costituente la molecola dell' etere. *Mondes app. de sc. pure.* 1863 p. 399 e 400.

§. 9.

Applicazione della teoria precedente alla spiegazione de' fatti principali relativi ai cambiamenti di stato de' corpi da liquido ad aeriforme e viceversa.

Abbiamo nei §. 6 e 7 esposta la maniera di concepire lo stato de' diversi corpi, ora dobbiamo vedere come si possono spiegare in tale teoria i fenomeni che accompagnano il passaggio dall'uno all'altro di questi stati. Un fatto principale che deve spiegarsi è quello del calorico *latente*, cioè di quello che è assorbito o svolto nella trasformazione di stato (V. §. 1. legge 4ª), come pure l'altro fenomeno che và di conserto, cioè il cambiamento di capacità calorifica della sostanza nella medesima mutazione.

Ciò discende in modo assai piano dalla nostra teoria. Prendiamo per esempio un gas prossimo al momento della liquefazione, come un vapore: perchè esso perda lo stato gassoso dovrà distruggersi nelle sue molecole la velocità di traslazione libera per ridurle alle orbite ristrette che abbiam detto esser proprie dei liquidi. Ciò non può farsi senza sottrarre dalla massa la forza viva di proiezione, onde essa resti animata da semplice moto vibratorio. In pratica ciò avviene sempre a poco a poco, e soltanto un certo numero di molecole per volta perde la detta velocità di proiezione, e la lor forza ritrovasi in parte impiegata a scaldare i corpi circostanti, in parte a conservare un'altra parte del gas stesso dalla liquefazione, ossia in ambedue i modi è impiegata a rianimare il moto vibratorio della massa circostante che veniva da causa estranea affievolito. Così nel caso ovvio della condensazione del vapore dentro un liquido freddo, il moto che perde la sua massa si comunica ad un certo peso d'acqua che si riscalda come si usa nelle officine di industria; ovvero è lentamente disperso tra i corpi contigui di cui o eleva la temperatura o almeno ne impedisce l'abbassamento. Una massa isolata di vapore acqueo

sospesa nell'atmosfera all'atto del condensarsi in goccioline minime forma una nube, ma svolge calore: cioè una parte della sua forza viva è impiegata a scaldare tutta l'aria frapposta e un'altra a mantenere in istato elastico il resto della massa del vapore. In una parola abbiamo qui evidentemente il caso di una trasformazione del moto traslatorio libero di una parte della massa in vibratorio dell'altra.

Considerando le parti del corpo che hanno perduto la loro velocità di traslazione, e si trovano ristrette a vibrare in cinte angustissime, è manifesto che per ottenere da esse urto eguale sopra le altre, non sarà più sufficiente comunicare loro la medesima forza viva di prima, per farle vibrare con eguale intensità, ma tal forza impressa dovrà essere assai diversa, perchè è diverso lo spazio che devono percorrere e il numero degli urti che devono subire nei due stati. Si avrà però necessariamente una diversità nell'effetto prodotto sul corpo dalla stessa quantità di urto estraneo che venga comunicato alla massa nei due diversi stati. Quella quantità di moto che in un gas produce certa escursione lineare di molecole, e quindi un certo rinforzo di urti quando si scontrano, non potrà più fare pari effetto nel caso del liquido, perchè le molecole essendo chiuse dalle vicine, più frequenti sono le sue collisioni; quindi si richiederanno diverse quantità di forza viva nei due casi perchè il corpo mostri eguale incremento di oscillazione termica o di temperatura, o in altri termini il corpo *avrà cambiata collo stato quella che dicesi* CAPACITÀ PEL CALORICO. Questa conseguenza è confermata dalla esperienza, la quale mostra che in tutti i corpi liquidi le calorie di *temperatura* sono più grandi che nei medesimi quando sono in istato aeriforme. L'acqua che ha capacità $=1$ nello stato liquido, ha 0,475 in quello di vapore e così dicasi di altri corpi (1). Anzi risulta prossimamente

(1) V. Cantoni pag. 73 dell'opusc. *Relazioni tra alcune proprietà termiche ed altre proprietà fisiche de' corpi.* Pavia 1862. È anche inserito nel Nuovo Cimento an. 1862.

che la capacità dei fluidi ridotti in stato elastico è generalmente la metà di quella che hanno a stato liquido. E ciò deve accadere anche senza prendere in considerazione ipotesi sussidiarie, quali potrebbero parere le variazioni de' moti rotatorii, e l'influenza del mezzo circostante o delle forze moleculari, le quali cose certamente influiscono nella capacità calorifica come vedremo, ma dalle quali per ora dovevamo prescindere.

Queste cose si capiranno anche meglio considerando il caso contrario, cioè del passaggio del liquido a stato gassoso, nel quale devonsi restituire alle molecole le velocità di proiezione capaci a farle uscire dalla cerchia delle contigue. È evidente che in questo caso bisogna dar loro una quantità di moto sufficiente, 1° per separare le vicine e farsi strada attraverso ad esse, 2° per continuare il loro movimento. Qui possono darsi due casi. Il 1° che il corpo non riceva aumento estrinseco di calorico: il 2° che lo venga ricevendo. Nel 1° caso mentre una porzione del liquido evapora dovrà ricevere dall'altra o dai corpi circostanti il movimento competente al nuovo stato, quindi essa assorbirà calorico da tutti i corpi vicini compresa la massa residua non volatilizzata. Tale è il caso comune dell'evaporazione de' liquidi all'ordinaria temperatura, che producono freddo, sul qual principio è fondato *il psicrometro* usato in meteorologia. Anzi se il liquido sia assai volatile come quelli che nascono da corpi abitualmente in istato gassoso, e liquefatti solo per forti pressioni congiunte a diminuzione di temperatura (siccome sono l'acido solforoso, l'acido carbonico, il gas acido nitroso ecc.) quando tolte le pressioni questi liquidi acquistano stato elastico, assorbono tanto calore che si ottengono i più forti freddi, quali sono di — 70°, e fino — 100° sotto zero coll'acido carbonico. Tal sottrazione è sì rapida che può gelarsi l'acqua coll'ac. solforoso in un crogiuolo di platino rovente. Nell'esperimento poi dell'acido carbonico una porzione del liquido passa a stato solido (Thilorier).

Ciò avviene perchè la forza viva non essendo per ipotesi variata nell'intera massa, e la porzione di essa che và in stato elastico abbisognando di una velocità sterminata, (perchè passa a volume almeno 400 volte maggiore) è ben necessario che l'altra parte resti spoglia di quel tanto e perciò passi allo stato solido. A tale condensazione però non è impossibile che contribuisca anche la pressione fortissima, benchè momentanea esercitata dalla parte che ripiglia lo stato gassoso sull'altra che nol prende, il quale meccanico effetto deve aiutare il ravvicinamento nelle altre parti.

Che se, per 2° caso, si aggiunga alla massa liquida novello calore, giunto il punto in cui la volatilizzazione si possa fare liberamente e con forza pari all'incombente pressione, il calorico aggiunto non alzerà la temperatura; ossia la forza aggiunta alle molecole sarà impiegata non ad aumentare l'urto reciproco, nè a dilatare la massa liquida, ma in proiettare e animare di una competente celerità quella parte che si trasforma in gas, o vapore (1).

In un tal atto della mutazione di stato però si verifica una circostanza degna di molta considerazione e che al primo aspetto ha del paradosso, e sembra contraria ai principii della teoria del calore stabilita da Clausius e Thomson. Questa è che un corpo freddo può cedere calorico ad uno più caldo di lui. Infatti la porzione evaporante ha da principio una certa quantità di forza viva, che certamente cresce al momento della volatilizzazione, a spese del liquido rimasto più freddo da cui assorbe calore. Anzi anche la temperatura si alza in un corpo freddo a spese di un più freddo, e ciò si vede bene nel passaggio a solido dal liquido di cui diremo fra poco: l' acqua raffreddata p. es. a — 5° toccata con un corpo a — 2° gela in parte e la

(1) Diciamo *gas* o *vapore*, perchè non esiste vera differenza tra questi due stati, tranne che i vapori sono gas che hanno il punto di trasformazione in liquido a più alta temperatura, mentre i gas sono vapori che hanno tal punto bassissimo.

massa si scalda a 0°. Un corpo freddo adunque mercè il passaggio da uno stato all'altro, può ceder calore ad uno più caldo di lui. Ora nasce l'obiezione: se la temperatura dipende dalla velocità propria delle molecole oscillanti e vibranti, come può una molecola dotata di minor velocità comunicarne una maggiore ad un altra? Là risposta è assai semplice nell'ipotesi che le molecole siano dotate di moti rotatorii, perchè abbiamo veduto che in tal caso la velocità rotatoria trasformandosi in traslatoria può il corpo percuziente rimbalzare con velocità maggiore di quella che avea prima. Questo caso può anche spiegarsi nella teoria che suppone le molecole semplicemente elastiche, ma allora perchè la molecola impellente comunichi maggior velocità della propria all'impulsa è necessario supporre che la prima sia di massa maggiore della seconda, il che in tutti i casi non saprebbe ammettersi. Quindi abbiamo in questo fatto una conferma che la semplice elasticità ordinaria attribuita alle molecole non basta, e che la teorica addottata da noi è assai più generale. Le molecole specialmente de' liquidi e de' solidi hanno certamente una enorme velocità di rotazione, e la forza viva o il lavoro *immagazzinato* (si perdoni questo termine ormai divenuto tecnico) in queste che noi non esiteremo a paragonare ai volanti delle nostre macchine, necessariamente dovrà in occasione di urto competente trasformarsi in moto traslatorio, e restituire il lavoro, come si disse esser proprio dell' inerzia agire come una molla per immagazzinare la forza o il moto. (V. sopra pag. 15).

Oltre la pressione sovrastante diverse circostanze estrinseche contribuiscono a determinare il grado di tensione e di temperatura a cui un liquido passa a vapore. Una principale è il contatto de' corpi solidi, che lasciando sempre qualche discontinuità tra le superficie contigue favoriscono la libertà delle molecole e agiscono con varia forza ripulsiva secondo le loro scabrezze: quindi avviene che piccole

masse d' acqua sospese in liquidi di peso specifico eguale all'acqua stessa reggono senza volatilizzarsi ad un alta temperatura, finchè rotto in un punto quell'equilibrio forzato con qualche modo artificiale, come per es. toccandole con un filo metallico, finalmente esplodono vigorosamente abbassandosi intanto la loro temperatura (Dufour).

Così adunque malgrado l'aumentata quantità di calorico l'evaporazione non si fa in un liquido in cui la diffusione delle molecole è impedita, e per lo contrario la temperatura non cresce in una massa quando essa possa evaporare liberamente.

In ogni gas devono adunque considerarsi due quantità di calorico: una che costituisce il suo stato elastico, e può dirsi di *elaterio,* l'altra quella che fu mestieri a disgregare le molecole liquide, e può dirsi di *vaporizzazione.* Nelle forze meccaniche prodotte dal fuoco è evidente che solo la prima è utilizzabile, che è circa un 12mo del totale; l'altra costituisce una pura perdita. A rimediar questa si inventarono le macchine ad aria sola riscaldata, ma altri inconvenienti le fecero abbandonare.

Qui è bene considerare con attenzione il caso in cui la massa è arrivata a stato libero, ossia ridotta in gas, ed esaminare quali saranno gli effetti in essa prodotti da un aumento di forza viva comunicatagli. Primieramente vi corrisponderà un lavoro interno che ne aumenterà il volume; in secondo luogo crescerà l'oscillazione moleculare, e aumenterà la temperatura. Di queste due operazioni la seconda può mancare, perchè può darsi il caso che tutto il calorico sia impiegato in un lavoro di mera dilatazione o come dicesi ad impedire il freddo che produrrebbe nella massa intera una causa dilatante, come sarebbe l'allargamento dello spazio occupato dal gas in un cilindro col ritirarne lo stantuffo. Ma può anche mancare l'aumento di volume, il che avviene quando il gas sia chiuso in un recipiente inestensibile. In questo caso l'intensità dell'urto crescerà più che nel precedente per pari quantità di moto ricevuta.

Questo dà luogo ad una distinzione importante della *capacità* dei gas pel calorico, che si divide in capacità a *volume costante*, e a *pressione costante*. Vale a dire che se per mostrare la medesima tensione termometrica un gas chiuso in un recipiente di volume invariabile esige certa quantità di calorico, esso ne esigerà assai di più in un altro recipiente dove possa variare di volume, perchè nel secondo caso deve fare un lavoro di più, che è quello di dilatare la propria massa. La capacità a pressione costante, e perciò a volume variabile, dall'esperienza trovasi essere $c = 0,2377$, ed il rapporto delle due capacità essendo $\varkappa = 1,4122$, risulta la capacità a volume costante $c' = 0,1687$ (1). Evidentemente la differenza di queste due capacità è funzione del lavoro meccanico eseguito, quindi partendo da questa cifra si trova l'equivalente meccanico del calorico 424 chilogrammetri, che combina cogli altri risultati ed è una luminosa conferma della teoria.

Di qui discende pertanto che nel dilatare un gas a pressione costante, circa 2 settimi della forza viva è impiegata nel semplice lavoro di proiezione delle molecole senza che se ne esalti l'intensità della vibrazione; quindi nel condensarlo questa forza viva dovrà ricomparire. Cioè quando le molecole da largo spazio ove liberamente scorrevano vengano costrette ad agitarsi in uno minore, si renderà sensibile la velocità della traslazione da cui sono animate, colla quale percuotendo reciprocamente se stesse e i corpi circostanti, faranno il lavoro di aumentare l'oscillazione termica. Esse in una parola faranno l'uffizio di proiettili che animati da grande celerità esauriscono la loro forza agitando le pareti e il mezzo in cui sono racchiusi. Nel parlare finora usato nella scienza si suol dire che nella rarefazione si rende *latente* una porzione del calore, il quale poi si *sviluppa* nella condensazione; ma è manifesto che la cosa non deve

(1) Hirn pag. 171 trad. di Zeuner.

intendersi di una sostanza che annidata nei pori del corpo come in nascondigli, ne schizzi fuori qual acqua dalla spugna quando si spreme. Tuttavia l'espressione di calorico latente può continuarsi a ritenere come un commodo termine di convenzione, ma non altro (1).

(1) Qui non sarà fuor di proposito l'accennare una bella applicazione di questi principii che è stata fatta dal Sig. Marsh alla spiegazione de' fenomeni delle stelle cadenti (V. *Americ. Journal* vol. XXX, *On luminosity of meteors*).

L'infiammarsi di questi corpi è certamente dovuto alla frizione contro l'aria, ma la somma rarità della medesima nelle alte regioni sembrava insufficiente a dare ragione dello svolgimento di tanto calore, quanto basti a volatilizzarli e renderli incandescenti. Ma osserva esso giustamente, che quest'aria dilatata trovasi avere una enorme quantità di calor *latente* assorbito nella dilatazione. Infatti risulta dai rapporti succitati delle capacità, che quando l'aria è libera a dilatarsi solo $\frac{5}{7}$ circa del calore comunicato si impiega ad alzarne la temperatura, gli altri $\frac{2}{7}$ sono assorbiti nel lavoro meccanico della dilatazione, cioè che dei 273 gradi che si richiedono per raddoppiarne il volume, 80 sono assorbiti e come dicesi resi latenti. Ora all'altezza di miglia 3,43 l'aria è già ridotta alla metà della densità, quindi avrà 80° di calor latente, e si calcola che ove giunga a una densità 128 volte minore come ha a 21 miglia, già il calore latente è 10000 gradi. Tale quantità di calore è necessariamente riprodotta nel lavoro della compressione che su di essa esercita il bolide quando incontrandola con velocità planetaria la condensa enormemente alla sua faccia anteriore. E supposto che tal densità sia portata anche solo a quella che si ha al livello del mare, si vede che dovrà svilupparsi luce e calorico in enorme abbondanza. All'altezza di 60 miglia l'aria è 260000 volte più rara, e il calorico latente è 20 milioni di gradi: talchè malgrado la bassa temperatura degli spazi planetari che certo arriva a — 100°, e malgrado il calore sottratto dal corpo stesso che investe l' aria, tal calore deve essere capace di volatilizzare delle masse non piccole. E siccome più è dilatata l'aria più è tal calorico, così si spiega perchè siano tanto più frequenti nelle alte che nelle basse regioni le complete infiammazioni di tali sostanze. Le nostre osservazioni ci hanno dato 80 miglia per l'altezza di

È noto pure che i gas permanenti, che serbano la legge di Mariotte, hanno calori specifici sensibilmente uguali: dalla qual legge e dall'altra ben conosciuta dai chimici che i gas si combinano in rapporti semplicissimi di volumi, che stanno in proporzione degli equivalenti chimici, aveano essi già dedotto che questi corpi, sotto la medesima pressione e alla medesima temperatura, in volumi eguali contenevano numero eguale di atomi.

Nella teoria meccanica del calore questo vuol dire, che pari quantità di lavoro si esigono per comunicare eguale quantità di forza viva al medesimo numero di atomi che sono raccolti in un dato volume. Ma questi atomi sono le quantità di materia che potendosi sostituire nelle combinazioni le une alle altre, diconsi appunto *equivalenti*: ne discende adunque che gli *equivalenti chimici di queste sostanze devono avere la medesima capacità pel calorico*, il che, dentro certi limiti cui poscia vedremo, fu realmente verificato dall'esperienza anche per gli altri corpi. Qui ci basti di avere accennato questa conseguenza sulla quale torneremo più ampiamente appresso. Ora concluderemo con una riflessione importante.

Riguardando la dilatazione dei gas permanenti come la misura diretta della forza viva da cui sono animate le molecole, ne seguirebbe che a quel punto in cui la loro forza espansiva fosse nulla, sarebbe pur nullo il movimento moleculare e si avrebbe l'assoluto zero termometrico. Ora risulta dalle sperienze di Magnus e Regnault che la dilatazione dei gas permanenti è 0,003665 del loro volume per ogni grado del termometro centigrado: quindi si trova che abbassandone la temperatura a — 273° sarebbe ridotta a zero la forza espansiva, e perciò si avrebbe lo zero termometrico assoluto(1). Ma in pra-

alcune di queste meteore, il che porta quel calorico a più migliaia di milioni di gradi.

(1) Infatti dividendo il volume considerato come unità per 0,003665 si ha per quoziente 273 prossimamente.

tica è probabile che prima di arrivare sì basso, i gas mutino stato, e quindi capacità pel calorico, onde non può dirsi a quale grado di temperatura cesserebbe in essi rigorosamente ogni moto vibratorio. Si è assai lontano dal produrre freddi sì grandi, ma è curioso il vedere come stia più in nostro dominio l'accrescere, che il diminuire il moto intestino de' corpi.

§. 10.

Del passaggio da stato solido a liquido e viceversa: intensità dell'azione moleculare.

Proseguendo ora ad esaminare il cambiamento di stato che ha luogo quando un solido passa a stato liquido e viceversa, potremo fare riflessioni analoghe alle precedenti.

Abbiamo detto che nei liquidi le molecole possono supporsi oscillare in curve chiuse e limitate entro la cinta delle circonvicine, a tale distanza che le azioni mutue attrattive delle molecole (qualunque sia la loro causa) si equilibrino colle impulsive di cui sono dotate. Però la mobilità di queste sostanze, e la loro azione uniforme sulla luce, ci avverte che i loro moti rotatorii restano ancora diretti per tutti i versi, e che gli assi di rotazione hanno probabilmente una posizione instabile dentro l'atomo, cioè che l'asse muta continuamente posto nel suo interno. All'incontro il solido richiede, 1° un maggior ravvicinamento delle parti; 2° un moto sincrono di varie molecole che formano un gruppo oscillante come atomo unico; 3° un orientamento negli assi di rotazione; 4° una riunione di particelle tenute da vincolo comune che le conforma in figura poliedra.

La maggior densità de' solidi sopra i liquidi è quasi legge generale, se ne eccettuiamo pochissimi corpi che solidificandosi si dilatano, tra quali l'acqua e il bismuto: però è presumibile che in questi i piccoli spazi intermoleculari vengano ristretti per dar luogo a pori più larghi tra le lamine cristalline, i quali vedonsi talora ad occhio nudo.

L'orientazione è dimostrata dalle forme cristalline che vestono tutti i solidi almeno nelle minime particelle quando son puri, e anche quelli che non appaiono tali nelle masse grandi e diconsi amorfi o vitroidi, pure hanno sempre qualche disposizione regolare che li avvicina ai cristalli, almeno nelle minime molecole. Il comun vetro stesso non è privo di ogni tessitura cristallina, come scopresi coll'acido fluoridrico.

Il ritmo vibratorio delle varie molecole è conseguenza necessaria dello stare molte di esse dentro una medesima sfera di attrazione per formare la molecola del solido che è germe del cristallo, e sembra indicato dall'azione sulla luce, essendo alcuni mezzi incapaci a trasmettere le vibrazioni di certa lunghezza, non per altra ragione che per non esser quella sincrona ai loro movimenti. Sembra anche indicata dai fenomeni del magnetismo, e dalle differenti strie colorate nello spettro luminoso che emettono questi corpi quando entrano in combinazione ad elevata temperatura, non che dai fenomeni proprii de' corpi isomorfi, come meglio svolgeremo a suo luogo.

Ma il lavoro principale da fare nella fusione di un solido è il distruggere i vincoli moleculari: e, sia che questi derivino da veri principii operanti tra molecola e molecola, che diconsi forze attrattive, sia che dipendano dalla pressione di un mezzo esteriore, formano sempre una resistenza che pure bisogna superare.

Non potrà adunque un solido passare a stato liquido senza dare alle molecole tanta impulsione che sia sufficiente, 1° ad allontanare i centri; 2° a disgregarne i gruppi oscillanti sincronicamente; 3° a disorientare gli assi; 4° a vincere la causa della coesione. Quindi un solido assorbirà calorico, ossia esigerà una certa novella quantità addizionale di moto intestino per passare a liquidità, e non potrà mutare stato se questo non gli venga somministrato dall'esterno, e allora si troverà tutto impiegato a dare le impulsioni neces-

sarie alle molecole che si svincolano, e non nell'aumentare la vibrazione del resto della massa: quindi la temperatura resterà stazionaria durante la fusione. Il lavoro fatto dalla forza sopravvegnente sarà appunto la distruzione di tali legami.

Viceversa all' atto del passaggio del liquido a stato solido dovrà sottrarsi tutto il movimento suddetto. Che se il corpo sia artificialmente mantenuto in stato liquido a temperatura inferiore al punto di solidificazione, come accade nelle masse d'acqua lasciate in gran quiete, o in quelle che sono sospese in un liquido di egual densità specifica, le quali possono assai più abbassarsi, secondo Dufour, avverrà che all'atto della congelazione la parte che si solidifica scalderà l'altra: cioè la velocità delle molecole perduta da una parte della massa, si comunicherà al resto e il sistema acquisterà la temperatura normale della fusione. Tale proprietà non è esclusiva dell'acqua, ma anche di altri liquidi e di alcuni metalli come lo stagno e il piombo, come pure di alcune leghe che possono restar liquide sotto la temperatura di fusione. La temperatura che si svolge sul momento della solidificazione è talora assai forte. L'acido vanadico s'infoca, la zirconia fa altrettanto, e l'acido arsenioso emette scintille. Anche qui si avrà il caso esaminato nei gas che un corpo freddo cede calorico ad un più caldo, il qual fatto non è contrario al teorema de' teorici, perchè essi nello stabilirlo sempre prescindono dalle mutazioni di stato de' corpi. Il fatto che l' acqua non resta liquida sotto 0° se non è tranquillissima e che sturbata si congela rapidamente, mostra che le particelle possono restare per la loro inerzia in uno stato di equilibrio instabile, il quale ove sia rotto accidentalmente in un punto determina tutta la massa a prendere lo stato normale. Ed è notabile che per produrre tale effetto i moti vibratorii sono più efficaci di un moto generale della massa.

La fusione e l'evaporazione sono dunque due operazioni analoghe, ma siccome le velocità che devono darsi

alle molecole del corpo nei due casi sono assai diverse, così sarà diversa la quantità di moto richiesta per trasformarli da uno in un altro. Infatti l'acqua per passare da stato solido a liquido assorbe 79 calorìe, mentre per passare da stato liquido a gassoso ne esige 606, cioè quasi 8 tanti. Ma una volta che il corpo sia ridotto nel novello stato la sua suscettibilità al movimento, non resterà più quella di prima e sarà mutata la capacità del calorico e in fatti il ghiaccio e l'acqua hanno capacità assai diverse, cioè il primo ha 0,5 della seconda. Da questo è già facile il prevedere che le proprietà fisiche de' corpi e il diverso grado di loro coesione dovranno influire sulle quantità di calore necessarie alla dilatazione o alla fusione, e vedremo quanto prima ciò verificarsi dall'esperienza.

Qui crediamo che non sarà fuor di luogo l'esaminare l'energia di queste forze moleculari in rapporto colle forze più note, onde non restar sorpresi alle loro valutazioni numeriche. La violenza che si scorge negli effetti di tali azioni è già di per sè sola capace da farci conoscere che questi *minimi*, hanno forze in puro e vero senso irresistibili, e le più enormi resistenze sono incapaci di lottare contro a questi *giganti travestiti* (1). La contrazione del ferro che si raffredda può servire a coniare monete, e la dilatazione dell'acqua che gela può spezzare i più robusti cannoni. Esamineremo quindi l'intensità di tali forze in riguardo ad una delle più ovvie, quale è la gravità; il che avrà anche l'altro vantaggio di prepararci alla soluzione della questione, se queste forze possano o no considerarsi come derivanti dalla gravitazione universale.

È noto che illustri geometri, tra quali il Laplace, cercarono e molti cercano ancora di spiegare i fenomeni moleculari per mezzo della attrazione universale: ma da quanto siamo per dire, ne sarà manifesta l'impossibilità.

(1) Tyndall. *Mondes* app. vol. 11 pag. 101.

Il prof. Belli ha trattato profondamente questa materia in un suo vasto lavoro e da esso estrarremo quanto può concernere il nostro soggetto (1). Quest' autore ha calcolato quanta sarebbe la forza K colla quale si attraggono in virtù della sola gravitazione due chilogrammi di materia supposti concentrati ciascuno in un punto matematico, e situati alla vicendevole distanza di un metro. Questo valore di K è la quantità di moto che uno di questi corpi della massa di un chilogrammo acquisterebbe durante un minuto secondo per un' azione continua ed uniforme eguale all' attrazione dell' altro, e il numero $\frac{K}{g}$ è il numero de' chilogrammi al cui peso equivale una tal forza in un luogo in cui g è la gravità: fatto $g = 9{,}\overset{m}{8}1859$. Esso trova $K = 0{,}000000\,000367\,990\,\frac{1}{\delta'}$ essendo δ' la densità terrestre.

L'autore calcola quindi l'attrazione esercitata da un volume di due cubi di materia qualunque posti a contatto, e trova che, posta la densità della terra $\delta' = 5{,}0$ l'intensità di tale attrazione per due cubi di ferro di un centimetro di lato è

$$\chi = 0{,}000000\ 000004\ 21867$$

cioè poco più di 4 bilionesimi di chilogrammo. Ora la tenacità del ferro è T = 4470 chilogrammi, quindi il valore di χ in parti di T sarà:

$$\chi = \frac{1}{1059\ 570000\ 000000}\ T;$$

cioè una frazione minima della vera. Tanto che per due cubi di un metro di lato e a contatto sarebbe appena 0,42 di grammo! cioè infinitamente inferiore alla vera.

(1) Belli *Memoria sull'attrazione moleculare.* Milano 1833.

Questi calcoli suppongono la materia continua al modo geometrico, ma se essa fosse concentrata in piccoli centri di densità grandissima e di volume piccolissimo rapporto alle distanze reciproche, si potrebbe ottenere una forza sufficiente?

Per rispondere a tale questione il Belli osserva che l'attrazione relativa C di due cubi a contatto, e quella S di due sfere che contengono egual materia dei cubi stanno prossimamente tra di loro C: S:: 3: 2, cioè non vi sarà stragrande differenza, ma i cubi supereranno sempre la sfera.

Immaginiamo ora i corpi come composti di tanti punti collocati a distanza, ma di densità somma; noi a ciascuno di questi punti potremo sostituire una sfera di certa densità, perchè è noto che una sfera attrae come se fosse tutta concentrata nel centro; quindi al mezzo composto di punti potremo sostituire tante sfere che arrivino a reciproco contatto. Ciò fatto noi possiamo tirare tanti piani da dividere tutto il volume in tanti cubetti nel cui centro sia un punto, a cui sostituiremo poscia una sfera. La densità di queste sfere sia tale che la loro media (vuoto per pieno) eguagli quella del corpo considerato sotto l' aspetto continuo. Ma queste sfere lasciando dei vuoti, noi li imagineremo riempiti tutti con materia aggiunta, talchè ad ogni sfera si sostituisca un cubetto. Con ciò non sarà certamente diminuita l'attrazione anzi sarà accresciuta, perchè aggiungeremo materia, e sappiamo che il cubo esercita anche a pari massa più azione che la sfera. Ma dal detto sopra tali cubi a contatto per sola attrazione universale non possono equiparare la forza di coesione moleculare; dunque *a fortiori* nè anche le sfere, e quindi nemmeno i punti. Dunque l'ipotesi di Laplace non soddisfa affatto alle condizioni con cui si esercita l' attrazione moleculare, e quindi nè anche questa può derivare dalla semplice gravitazione.

Ciò però non vuol dire che l'ipotesi sia assolutamente impossibile, ma solo che è impossibile colla distribuzione

uniforme de' centri di attrazione. Se tali centri si unissero in modo da dare al corpo una struttura filiforme, si potrebbe ottenere un effetto equivalente alla coesione, ogni qualvolta la densità de' fili fosse tale, che la sezione trasversale del filo fosse contenuta in un centimentro un numero di volte $= 10^{32\ 000000\ 000000\ 000000}$ il che porta sì sproporzionata densità che non sò chi l' ammetterebbe, perchè se anche tutta la sfera delle fisse a noi più vicine fosse riempita di platino, e questo venisse condensato in una capocchia di spilla, appena si avrebbe idea delle densità che rappresenta tal cifra.

È dunque evidente che le forze moleculari o dipendono da un altro principio che non è la gravitazione universale, o se il principio è lo stesso, è certamente diversa la legge di azione. Le altre forze della natura conducono alla stessa conseguenza, come vedremo a suo luogo.

Ora dobbiamo proseguire a studiare un ulteriore fenomeno di cambiamento de' corpi, quello cioè in cui si muta la costituzione chimica, e vedere come a questo caso pure possa applicarsi la precedente teorica.

§. 11.

Della dissociazione chimica operata per mezzo del calorico: quantità del calorico ne' gas.

Vi è finalmente un terzo caso da considerare analogo ai due precedenti, e che consiste in ciò che per aumentata potenza del moto meccanico che costituisce il calore, non solo possono restare distrutti i gruppi detti di ordine fisico che formano i solidi, ma anche quelli di ordine *chimico* che formano le combinazioni eterogenee; il qual fenomeno, per dirlo qui solo di passaggio, ci fa vedere non essere specificamente diverse in origine le due attrazioni che communemente distinguonsi in chimiche e fisiche.

Il calore è uno de' mezzi più potenti di analisi che possegga la chimica: una infinità di corpi composti cede alla sua azione: a basse temperature i sali perdon l'acqua di idratazione: a una più alta avviene la riduzione degli ossidi, la calcinazione, la scomposizione di molti sali ecc. *Corpora non agunt nisi soluta* è vecchio adagio chimico, e il calorico si riguardò da molti di essi come il gran solvente universale. Secondo i più recenti esso agisce col mettere le molecole in stato elastico libero onde possano ubbidire alle mutue affinità (1). Comunemente i corpi più stabili si decompongono aiutandosi della maggior affinità di un terzo sopra alcuno de' suoi componenti, ma usando alcuni artifizi assai semplici possono decomporsi alcuni di questa classe anche senza l'intervento di altra sostanza, e tale è p. es. l'acqua, che così si decompone a temperature assai inferiori a quella a cui si forma comunemente. Ora in tal caso è degno di osservazione che una quantità di calorico sparisce, e diviene latente come appunto accaderebbe nella evaporazione. Per riuscire in questa sperienza bisogna fare che uno degli elementi in cui si scompone l' acqua sia separato rapidamente dall' altro mentre sono ancora caldi, perchè altrimenti essi tornano a ricombinarsi all' uscire dello spazio ove realmente stavano scomposti. Così il vapor d'acqua non si scompone passando per un un tubo di platino incandescente e prossimo alla fusione, ma può decomporsi anche a minor temperatura se nel tragitto incontri una sostanza che assorba uno de' due gas componenti dell'acqua e lo separi dall'altro, e così ciò riesce coll'ossido di piombo o altre sostanze che assorbano l'ossigene. Nè è mestieri che queste agiscano per quella che direbbesi affinità, ma basta la mera azione meccanica di filtrazione: infatti l'effetto si ottiene usando un tubo poroso che permetta alla forza espansiva dell'idrogene di separarsi dall'ossigene (2).

(1) Vedi quel che fu detto sopra pag. 55.

(2) Vedi sopra pag. 52.

L'esperimento è assai bello e di recente scoperta di S.C. Deville. Se trasmettesi una corrente di vapore attraverso un tubo poroso cinto da un altro più grande in cui si introduce una corrente di acido carbonico: arroventato l'apparato si vede uscire l'idrogene libero dal tubo dove era entrato l'acido carbonico, e dell'ossido di carbonio uscire da quello dove era entrato il vapor d'acqua. Egli è l'idrogeno dell'acqua già decomposta che esce libero all'esterno per la sua espansibilità, passando pei pori del tubo, mentre l'acido carbonico penetrando al luogo del vapore combinasi all'ossigene e forma l'ossido di carbonio. Senza tale separazione de' gas il vapore che anche a temperatura più alta assai attraversi un tubo rovente, si ricostituisce in acqua alla sua uscita. Con questi mezzi la decomposizione dell'acqua si fa a temperatura notabilmente minore di quella alla quale si forma, ed abbiamo in tal fatto il parallelo dell'evaporazione, che ha luogo a temperatura più bassa dell'ebbollizione, e si fa in maggior copia quanto più presto da una sostanza igrometrica viene assorbito il vapore.

Ma ciò che interessa al caso nostro è la grande quantità di calorico che diviene latente in tale operazione che Sainte Claire Deville chiama *dissociazione*, di cui eccone l'estimazione (1).

Dalle sperienze di M. Debray e Deville medesimo risulta che la temperatura dell'idrogeno che brucia nell'ossigeno non supera 2500°. A questa temperatura i gas occupano un volume 10 volte circa maggiore di quello che essi hanno a 0°, e il vapor d'acqua non può resistere a una temperatura tale che ne decupli il volume senza scomporsi. Ora la quantità di calorico che si esige per portare questi gas a 2500° (essendo costante la loro capacità) si trova esser $637 + (2500 - 100)0,475 = 1680$ calorie (riferite al grammo); le 637 è la quantità da dare a un grammo d'acqua

(1) V. *Comptes Rendus* de l'Ac. de France. 2. Fevr. 1863. tom. LVI. pag. 199.

per evaporarlo e portarlo da 0° a 100°, e il resto esprime la quantità per portarlo da 100 a 2500°. Tale è la quantità di calore che hanno al più i gas quando si decompongono.

Vediamo ora quella che nella combinazione si *svolge*. Secondo gli esperimenti di Favre e Silbermann la quantità di calore svolta nella formazione di un grammo d'acqua è 3833 calorie. Ora questo calore che si svolge quando si combina un grammo d'acqua deve essergli somministrato quando si scompone per restituire ai gas le quantità di moto necessarie a costituirli in istato elastico. Se pertanto dopo communicata loro tale quantità non vi fosse passaggio a stato latente, la loro temperatura nella decomposizione montar dovrebbe a 6800°, che è una cifra enormemente superiore a quella data dall'osservazione.

La differenza mostra dunque una disparizione di calorico, e la quantità sparita in tale atto della dissociazione si ha facilmente, sottraendo una dall'altra le cifre superiori, e si ha $3833^{cal.} - 1680^{cal.} = 2153^{cal.}$

E questa immensa quantità di 2153 calorie è impiegata a mettere i gas in istato di sufficiente forza ripulsiva, e comunicar loro la forza di proiezione necessaria onde non tornino ad unirsi e a formare l'acqua. Il fenomeno della dissociazione a temperature basse, apre un nuovo orizzonte alla intelligenza delle analisi chimiche per via voltaica, ma di ciò parleremo a suo luogo.

Concluderemo questo paragrafo col riassumere la quantità di lavoro o forza viva che sotto forma di calorico può dirsi (per usare il termine ormai divenuto tecnico) immagazzinato nei gas che sono in proporzione da comporre l'acqua.

Consideriamo una massa di gas capace di formare un chilogrammo d'acqua, anche semplicemente contando dal nostro zero convenzionale del ghiaccio fondente, benchè più ragionevole sarebbe contare dallo zero assoluto che si mette a — 273.° C.

Primieramente l'acqua per passare da stato solido a liquido, assorbe . . . . calorie 79,0

Per evaporare a 0° ne assorbe, ... » 606,5

e se l'evaporazione si faccia a t° si esigono 0,305 t° calorie di più, onde per alzarlo a 100° restando in stato *saturo* ci vogliono . . . . » 30,5

Per portare questo gas allo stato di vapore che diviene *sopra riscaldato*, come chiamano i pratici, per ogni grado bisogna aggiungere 0,44 calorie o 0,475 secondo altri: ritenendo il primo numero che è minore viene per 2500°—100° . . » 1056,0

Aggiungendo le calorie di dissociazione . » 2153,0

In tutto . . . . cal. 3925,0

L'osservazione diretta ha dato pel calore svolto nella produzione dell'acqua colla combustione dell'idrogene nell'ossigene . . . . 3833 cal.

Aggiunte quelle di fusione del ghiaccio . 79

Risultano calorie 3912

numero che non differisce dal precedente che per la diversità di alcuni elementi su cui è calcolato.

Ciascuna caloria equivalendo a chilogrammetri...428 (1), sarebbe in tutto un lavoro di 1 milione e 674336 chgmtri, ossia di 22381 cavalli vapore. Forza enorme di cui possiamo appena formarci una idea e che impiegata meccanicamente a generar calore, in ogni secondo ne produrrebbe tanto quanto svolge in pari tempo la formazione di un litro d'acqua! Essa equivale all'energia termica emessa dal Sole in 5^{m} di tempo. Qual forza incomprensibile si svolse nella formazione dell'oceano! Questo mostra quanto piccola cosa siano le nostre unità di forza rapporto a quelle della natura, e quanto gli agenti meccanici messi a nostra disposizione siano deboli,

(1) Questo è il numero di Zeuner. Ora si ammette meglio quello di Joule 424. — V. Hirn pag. 199 pei numeri usati sopra.

paragonati ai molecolari. Ma ne vedremo a suo luogo altri esempi. Quindi non saremo sorpresi quando troveremo di dovere ammettere che gli atomi dei gas devono avere delle forze vive enormi, e quindi delle velocità e quantità di lavoro immagazzinate affatto prodigiose. Sono queste velocità che estinguendosi in parte nell'una o nell'altra sostanza all'atto delle combinazioni chimiche si comunicano al resto de' corpi circostanti e alle masse riunite de' prodotti della combinazione, e così generano gli effetti meccanici delle esplosioni e simili. Ma non è qui luogo di trattare per esteso questo soggetto. Solo avvertiamo che una grandissima parte del moto traslatorio dei gas semplici deve restare nel composto in forma di moto rotatorio, non potendo tali scontri, generalmente parlando, accadere all'atto della riunione in modo che resti elisa ogni rotazione, e richiedendosi ciò perchè le lor masse continuar possano ad agire nello stato liquido e solido come corpi elastici in virtù della rotazione medesima.

Questo fatto della decomposizione chimica operata dal calorico, ci fa vedere la ragionevolezza della teoria dianzi enunziata, che cioè spingendo avanti la serie delle disgregazioni moleculari non sarebbe impossibile il riuscire a separare in veri atomi semplici e costitutivi della materia, quelli che noi chiamiamo corpi *semplici*, e che come vedremo si ha tutta la ragione da crederli aggruppamenti diversi di veri atomi. Allora si avrebbe una materia attenuatissima, di costituzione fisica tutta differente da quella che noi possiamo formarci dallo studio de' corpi ordinarii che sono tutti di struttura complicatissima. Da Galileo e Newton fino a noi non è mai mancato chi abbia creduto tal disgregazione possibile. Questa è l'ipotesi più semplice che possa formarsi per continuare la catena delle operazioni che ci è tracciata dalla serie de' fatti che conosciamo. Per dare un nome a tal materia che altri chiama minimi dinamici, altri molecole μ, altri ignicoli o corpuscoli, noi diremo tal materia semplicemente *attenuata*.

Secondo noi non è improbabile che questa stessa materia sia quella che forma il mezzo che riempie tutto e serve alla propagazione della luce, e che dicesi etere, anzi non troviamo migliore ipotesi per conciliare tutti i fenomeni e tutte le opinioni dei filosofi. L'etere sarebbe così costituito di atomi primitivi della materia comune. Forse molti sono gli anelli che separano la semplicità atomica eterea dalla semplicità supposta del nostro corpo più leggiero e indecomposto qual è l'idrogene, ma una fine di tale catena deve arrivare. È però assai problematico se i mezzi lasciati a nostra disposizione possano giungere mai a ridurre la materia comune a un tale stato. Tal materia *attenuata* deve trovarsi per tutto, e gli atomi complessi della materia ordinaria nel loro moto devono necessariamente urtarla, e trascinarla seco nella lor rotazione, e formarsene un vero vortice attorno, e l'influenza di tali vortici, e le pressioni che nascer devono da un tal mezzo è evidente che non possono trascurarsi quando si voglia investigare la teoria della formazione dei corpi. Quindi la costituzione de' medesimi supposta fin qui è necessariamente imperfetta, e dovrà completarsi dopo che avremo studiato le prove che ci conducono ad ammettere l'esistenza di questo mezzo. Infatti sarà ben diversa la forza che si esigerà a staccare due molecole rotanti connesse per sola inerzia come due corpi duri, e a separarle se sono connesse da una pressione esterna, come p. es. i due emisferi di Magdeburgo in cui sia fatto il vuoto.

Ma prima di dare più espansione a queste idee è da proseguire nell'esposizione de' fatti, e nello studio delle relazioni che passano tra le proprietà fisiche de' corpi e le loro proprietà termiche, il che spargerà gran lume sulla natura meccanica del calore.

Vogliamo però fare avvertito che in molti casi per evitare inutili circonlocuzioni seguiteremo ad usare la terminologia antica e indipendente dalla teoria meccanica, usando queste espressioni, secondo il consiglio di Grove,

come termini convenzionali per indicare i diversi stati e modi di azione di questa unica causa che è il movimento: così gli astronomi seguono a usare pei corpi celesti i termini del moto apparente, malgrado che si sappia non esser quello il vero (1).

§. 12.

Di alcune proprietà fisiche de' corpi considerate in ordine alla teoria meccanica del calore.

Abbiamo veduto finora che in generale un cambiamento di stato de' corpi è in relazione con una certa quantità di calorico assorbito o emesso, del quale si dà ragione considerando il lavoro fatto in tal modificazione in senso positivo o negativo. Però in tale atto si verificano sovente parecchie circostanze che è bene analizzare ed esaminare in particolare, perchè altrimenti potrebbero divenire soggetto di difficoltà.

Considerando il cambiamento di stato come risultato di un lavoro, la quantità della forza viva assorbita deve essere in proporzione di questo stesso lavoro; ora siccome esso è naturalmente diverso nei varii corpi per la differente loro disposizione moleculare e coesione, così deve esser diversa nei medesimi la quantità di calore richiesta a fonderli o evaporarli. Perciò essendo per es. assai minore la coesione del ghiaccio che del ferro, dovrebbe trovarsi pure mi-

(1) *Alors même que l'esprit serait conduit un jour à abandonner l'idée de forces diverses, à regarder tous les modes de force comme des manifestations differentes d'une seule et même force, ou à les resoudre définitivement en mouvement, nous n'en devrions pas moins toujours nous servir des divers termes conventionels pour exprimer les differents modes d'action de cette force unique, qui envahirait tout.* Grove, *Correlat. des forces phys.* p. 329. Paris 1856.

nore la quantità di calore assorbita nella fusione del primo che del secondo. Inoltre ogni corpo solido prima di esser fuso deve essere elevato di certo numero di gradi in temperatura, e tal numero deve essere pure in relazione cogli ostacoli diversi che incontrar deve la forza disgregante.

Ora se si determinano le suddette quantità in rapporto a masse eguali e partendo dallo zero del termometro ordinario e convenzionale del ghiaccio fondente, esse trovansi non istare punto in relazione colle proprietà antagoniste provenienti dalle attrazioni molecolari; il che potrebbe fare una seria obbiezione all'esposta teoria. Ma se bene si osserva non deve sorprendere che partendo da tali principii manchi tale corrispondenza. Primieramente perchè nessun rapporto esiste tra lo zero convenzionale de' nostri termometri e la quantità assoluta di calore esistente in un corpo, ma invece tutto indica che per tale effetto dovrebbesi piuttosto partire dallo zero assoluto che come si disse è a — 273.° In secondo luogo trattandosi di fenomeni dipendenti dalla grandezza d'oscillazione che possono fare le molecole e perciò dallo spazio più o meno ampio che occupar deve il corpo secondo le varie temperature, è contro ogni ragione cercarne il rapporto nelle masse, mentre invece dovrà trovarsi ne' volumi. Quindi è probabile che quella legge che resta mascherata partendo dalle considerazioni dello zero convenzionale e delle masse, ci si sveli partendo dalla considerazione dello zero assoluto e dei volumi. Per la stessa ragione nel cercare le leggi della dilatabilità de' corpi saranno esse piuttosto da considerare in ordine ai volumi che alle masse. E questo è precisamente ciò che insegna l'esperienza.

Se si determinano le *calorie di fusibilità* di un corpo in tal modo, cioè si determini la quantità di calore necessaria a portare da — 273° alla temperatura della fusione dei *volumi* identici delle varie sostanze, si trova che le più tenaci e le più resistenti sono quelle che ne esigono

di più; 2° lo stesso si verifica se si determinano le *calorie di fusione,* cioè quelle che finora diconsi quantità di calorico reso latente nella fusione, non a peso, ma a volume; e 3° lo stesso pure si trova in ordine alle dilatazioni.

Il sig. Cantoni nel citato lavoro (1) ha eseguito questi calcoli e questi confronti, e per la prima categoria di fatti dà quest'ordine.

Metalli	*Calorie di fusibilità a vol. eg.*	*Metalli*	*Calorie di fusibilità a vol. eg.*
Ferro	1576	Bismuto	164
Cobalto	1527	Mercurio	106 (*)
Platino	1428	Sodio	83
Oro	1211	Potassio	46
Rame	1170	*Metalloidi*	
Argento	770	Selenio	147
Alluminio	606	Solfo	137
Zinco	469	Ghiaccio	119
Cadmio	295	Fosforo	105
Antimonio	240	Iodio	101
Piombo	218	Bromo	67
Stagno	212		

Qui è evidente la legge che dicevamo, cioè tanto più crescono le calorie per portare un corpo al punto di fusione quanto più la sostanza è resistente e compatta. Si vede pure che a pari tenacità hanno minori calorie i corpi omogenei e meno cristallini, come argento, piombo ecc. ma apparisce pure che vi è una legge diversa tra i corpi di vari gruppi, come sono i metalli e i metalloidi.

(1) V. sopra pag. 60 e l'opusc. ivi citato pag. 47.
(*) Solido a — 40.°

Le calorie di fusione poi valutate non a pesi, ma *a volumi eguali* sono le seguenti (1).

Sostanze	*Calorie di fusione a vol. eg.*	*Somma di quelle di fusione e fusibilità a vol. eg.*
Argento	208,1	966
Zinco	186,1	664
Bismuto	123,1	285
Stagno	114,7	310
Piombo	59,8	273
Mercurio	40,9	144
Metalloidi		
Iodio	55,3	166
Bromo	51,7	119
Solfo	18,1	155
Fosforo	8,8	114
Corpi composti		
Nitrato sodico	138,6	
Fosfato sodico	97,0	
Ghiaccio	72,7 (2)	
Cera d'api	36,5	

Benchè pochi questi esempi (che però non tutti abbiamo citato) bastano a mettere in evidenza la citata relazione tra la coerenza de' corpi e le quantità di calorico richieste a superarla per farli passare a stato liquido, poichè si vede che le calorie sono in ragione della coerenza delle sostanze a bassa temperatura.

Ma i rapporti non possono esser sì semplici ed evidenti come potrebbe desiderarsi, perchè nell'operazione del

(1) V. Cantoni pag. 51 ove trovansi altri esempi.

(2) A peso è 79,2.

disgregamento devono tenersi in conto molti elementi che concorrono al lavoro passivo della disgregazione o separazione delle molecole. Questi elementi sono certamente diversi ne' varii corpi, perchè dove danno luogo alla durezza, dove alla tenacità, dove alla elasticità, dove alla flessibilità, di più d'una delle quali proprietà nessuno saprebbe indicare qual sia la vera misura o la funzione determinatrice. Una di queste è più generale delle altre, ed è la forma cristallina, e si vede che essa effettivamente influisce tanto, che è diverso per gli stessi corpi il grado richiesto a fonderli se sono amorfi o cristallini. Inoltre si deve tener conto della variazione di volume subìta nell'atto del liquefarsi del solido, il che pure è un altro lavoro. Queste azioni molecolari possono considerarsi come tante pressioni interne che ostano alla separazione delle molecole, e deve avvenire per esse ciò che l'esperienza mostra per le pressioni esterne, le quali fanno variare il punto di fusione o solidificazione di varie sostanze. Così per esempio nell'acqua colla pressione si abbassa il punto di solidificazione sotto lo zero, e si è potuta mantener liquida fino a — 18° con 10000 atmosfere (Mousson). E siccome essa segue a dilatarsi sotto lo zero e più si dilata nel cristallizzare, così si spiega che ove il recipiente non ceda e si spezzi per la forza espansiva, essa non gelerà punto per qualunque grado di freddo a cui si assoggetti, come si vide nelle sperienze di Rumford. È da sapere che l' abbassamento del punto di solidificazione dell'acqua colla pressione è una conseguenza tratta a priori dalla teoria meccanica del calore (1): e questa pure mostra dovere accadere l'opposto, cioè alzarsi in grado di solidificazione nei corpi che si restringono nel consolidarsi, il che pure è verificato dall'esperienza. Così il solfo che si restringe, fonde sotto un'atmosfera di pressione a 107°,2, e sotto 808 atmosfere fonde a 140.°

(1) W. Thomson *On the dynamical theory of heat.* Trans. R. Soc. Edimb. 1851 pag. 271.

Un altro modo di passaggio dello stato solido a liquido de' corpi è per via di *soluzione* nell' acqua. In tal circostanza pure si assorbe calorico ed è mestieri tenere a calcolo tutte le circostanze influenti. Queste sono oltre la disgregazione del solido, il lavoro necessario a diffondere il solido nel liquido, e le variazioni di volume nella miscela. L'esperienza mostra che il calore assorbito è maggiore colla quantità relativamente maggiore del liquido, e coll'aumento del volume del miscuglio (1). Nelle soluzioni che accompagnano i miscugli de' solidi vi coopera spesso non poco l'azione chimica, e mentre da una parte il calore svolto da questa contribuisce ad accelerare la fusione de'solidi stessi, dall'altra la mutazione di stato che ne deriva produce un assorbimento e rende il fenomeno assai complicato. Tale è il caso degli ovvii miscugli frigorifici di sale e ghiaccio ecc. Onde si vede che nei casi pratici vi sarà sempre possibilità di indicare in che sia impiegata la forza viva calorifica comunicata ai corpi, ma sarà difficile precisare la qualità specifica del suo lavoro.

Ciò che si è detto delle circostanze concomitanti le fusioni de' solidi considerate in ordine alle escursioni molecolari, e quindi ai volumi, si deve estendere anche al passaggio dallo stato liquido all'aeriforme. Se anche qui si valutino a peso le calorie di evaporazione (quantità di calorico reso latente) non troviamo relazione alcuna colle proprietà fisiche dei corpi, ma valutandole a volumi, la relazione è manifesta. Eccone un saggio.

	Calor. di vap. a volume	*Totali*	*Cal. a peso*
Mercurio.	988,7 . . .	1145,0	77
Acqua	514,1 . . .	610,0	536
Alcool metilico. .	200,5 . . .	234,1	261
Acido solforoso. .	138,0 . . .	138,0	94

(1) V. Cantoni op. cit. pag. 58.

	Calor. di vap. a volume	Totali	Cal. a peso
Terebenteno . . .	58,8 . . .	124,0	58
Etere acetico . .	86,6 . . .	119,9	105
Solfo.	111,8 . . .	279,7	72
Iodio.	88,4 . . .	181,7	23

Qui è evidente come i corpi più densi richiedono maggior numero di calorie presi a volumi eguali, mentre a peso non vi è alcuna legge. Questo numero si trova in relazione colla coerenza de' liquidi e non colla loro viscosità. Fu già avvertito che i vapori hanno generalmente capacità calorifica minore (circa la metà) de' liquidi corrispondenti (1) e nei volumi tal legge è ben più manifesta. In questi corpi dovendosi nel passaggio a stato aereo considerare due quantità di calorico una di elaterio, l'altra di vaporizzazione (come si disse a pag. 64), e quest'ultima essendo tutta impiegata a disgregare le molecole, essa dovrà trovarsi generalmente più grande nei liquidi più coerenti. Così la quantità del lavoro di disgregamento valutata in chilogrammetri si trova per il mercurio essere 385$^{km.}$, mentre per l'acqua è 218$^{km.}$ e per l'alcool metilico è 78. All'incontro quella dell'elaterio è dovuta alla semplice dilatazione, si esprime rispettivamente per 79, 59, 16 e le coesioni relative sono 1,92; 1,00; 0,39. È singolare che nei varii liquidi il rapporto di questi due lavori sia prossimamente costante ed = 11, e poco cresca colle temperature (2). Noi citiamo questi pochi esempi ma più altri possono vedersi nel lodato lavoro del Cantoni.

In generale si può anche osservare che a disgregare i liquidi si esige più calorico che a fondere i solidi rispettivi, il che suppone molto maggior differenza nell'energia dell'attrazione moleculare tra i liquidi e i vapori, che tra

(1) Cantoni op. cit. pag. 73.
(2) Id. pag. 78.

i liquidi e i solidi, come già si conosce da altri fatti. Ma finora non si è scoperta la legge che regola le due quantità di calorico nello stesso corpo: e questa molto meno si conosce pei corpi di natura diversa. Così p. es. a disgregare un litro d' acqua e convertirlo in vapore ci vuole pari quantità di calorico, che a fondere un decimetro cubo, ossia egual volume, di ferro.

Passiamo ora ad esaminare qual relazione vi sia tra le quantità di calore richieste a produrre una data modificazione moleculare nei corpi fuori del cambiamento di stato, e le loro proprietà fisiche di durezza, tenacità, elasticità ecc.— Cominciando dalle quantità necessarie ad elevare di un pari numero di gradi (capacità calorifiche) le varie sostanze valutandole non a peso, ma a volume, troveremo l'ordine seguente (1).

Sostanze	*Calorie per* 1.°	*Sostanze*	*Calorie per* 1.°
Potassio	0,143	Litio.	0,559
Sodio	0,283	Molibdeno	0,567
Iodio	0,267	Tungsteno	0,587
Telluro	0,286	Rodio	0,615
Bismuto	0,305	Oro	0,624
Antimonio	0,340	Osmio	0,662
Selenio	0,343	Zinco	0,669
Piombo	0,357	Palladio	0,670
Solfo	0,359	Iridio	0,678
Stagno.	0,415	Platino	0,685
Magnesio	0,435	Boro.	0,695
Silicio	0,428	Rame	0,842
Arsenico.	0,440	Ferro	0,882
Cadmio	0,487	Cobalto	0,906
Diamante	0,519	Manganese.	0,921
Aluminio	0,556	Niccolo	0,961

(1) V. Cantoni pag. 15.

Da questa tavola risulta 1.° che le capacità a volume sono molto più vicine ne' vari corpi che quelle a peso. 2.° I numeri più bassi appartengono ai metalli più disgregabili, potassio, sodio, ecc. i medii a quelli di mezzana coerenza, piombo, stagno ecc. che sono anche di media fusibilità: i più alti infine al ferro, niccolo, manganese. Dal che si conclude che la capacità a volume è crescente colla tenacità e colla coesione del corpo. Anzi lo stesso corpo nei vari stati di aggregazione ha varia capacità, del che se n'ha un cospicuo esempio nel carbonio, ove la capacità cresce colla coesione.

Carbone di legna: cap. a peso	=	0,242	a vol. =	0,110
Grafite	»	0,202	»	0,444
Diamante	»	0,147	»	0,516

La stessa legge si verifica anche pei liquidi, dove le calorie di temperatura a peso variano da 1 a 30, mentre a volume variano da 1 a 3,5 (1) e sono sempre minori che pei metalli più coerenti (esclusa però sempre l'acqua), e i numeri minori appartengono ai liquidi più volatili e disgregabili — Così resta sciolta una delle obbiezioni che si affacciavano alla teoria del calore, dedotta dal trovarsi le capacità del calorico, o calorie di temperatura maggiori pei corpi meno coerenti quali sono i liquidi, che non pei più compatti quali sono i metalli. La difficoltà nasceva dal non considerare il soggetto sotto il suo vero aspetto dello spazio in cui devono oscillare le molecole, cioè dal non considerare i volumi. Non essendo poi i liquidi generalmente corpi semplici ma composti, la ragione della maggior capacità dipende anche dalla legge della composizione, di cui parleremo appresso e così può aver la sua spiegazione qualche eccezione, come per esempio quella dell'acqua.

(1) V. in Cantoni pag. 18 una copiosa lista di tali liquidi.

Se lasciati da parte i pesi, si cerchino in rapporto ai volumi le quantità di calore che producono un dato aumento del volume medesimo, le quali il Cantoni chiama *calorie di dilatazione*, si trova l'ordine seguente (1).

Solidi

Acciaio	2,659	Antimonio	1,030
Platino	2,585	Alluminio	0,835
Ferro	2,185	Zinco	0,784
Rame	1,038	Bismuto	0,744
Oro	1,448	Stagno	0,615
Ottone	1,397	Cadmio	0,519
Argento	1,042	Piombo	0,399

Liquidi

Mercurio	0,2508	Bromo	0,0334
Acido azotico . . .	0,0861	Cloroformio	0,0320
Acido solforico . .	0,1209	Etere etilico . . .	0,0258

ecc.

Di qui apparisce 1.° che le dette quantità nei metalli ed altri corpi solidi hanno il massimo valore per quelli di maggior coerenza:

2.° che nei liquidi sono assai minori dei solidi:

3.° che nei liquidi più compatti, come mercurio, ac. solforico, sono maggiori che nei più volatili.

Passando adesso a mettere in relazione i vari elementi di elasticità, densità, tenacità ecc. colle calorie di temperatura, risulta che queste sono in ragione composta inversa della densità, e diretta della coerenza relativa, e perciò la capacità a volume è direttamente proporzionale alla coerenza stessa. Tra le proprietà più segnalate de' solidi vi è quella della elasticità, la quale mostra una certa

(1) V. Cantoni pag. 28.

mobilità delle loro parti, ed è tale che la sua misura si ha dall'allungamento prodotto sospendendovi un determinato peso, che sia però tale da non ispostarne permanentemente le molecole, ossia da non produrre effetto permanente. Ora tale allungamento rappresenta un lavoro, onde era da aspettarsi di trovar qualche relazione tra questa dilatazione artificiale forzata e la naturale derivante dal calorico. Risulta pertanto dall'osservazione che il rapporto della capacità calorifica, e del coefficiente di elasticità è quasi costante per tutti i metalli non cristallini, e questo rapporto è 1,36 (1). Il qual risultato significa che una data quantità di calore operante in eguali volumi di questi metalli, varrebbe ad equilibrare un'egual pressione quale è quella p. es. che si ha da un dato peso operante sulle verghe, ond'è che con una data quantità di calore, e però con una data spesa, adoperata a scaldare verghe metalliche di diversa natura, ma di dimensioni eguali, si svolgono forze prementi eguali molto prossimamente. Il valore sopraccitato del rapporto conduce all'espressione dell'equivalente meccanico del calorico, che risulta 424 chilogrammi. La valutazione di questo elemento ottenuta per tal via è una luminosa conferma della teoria, e basta essa sola a togliere qualche dubbio ancora esistente su le diverse maniere di valutare i coefficienti stessi di elasticità. In generale risulterebbe pure che le calorìe di temperatura a volume sarebbero nei suddetti metalli in ragione composta diretta dei coefficienti di elasticità e di dilatazione.

Nei metalli a struttura cristallina o rincruditi per la trazione della filiera, variano questi coefficienti, ma in essi vi è un altro lavoro da considerare, cioè quello che dipende dall'orientamento delle molecole, la qual causa che debba non poco influire si fa manifesto dallo studio fatto

(1) V. Cantoni pag. 24 e il suo *Manuale* di fisica a pag. 531 in nota.

in diversi minerali, nei quali le calorìe di dilatazione sono diverse secondo le forme cristalline. Si trova infatti che per un gran numero di minerali che hanno per forma il cubo o il prisma retto a base romboidale o il prisma romboidale, le calorìe di dilatazione sono commensurate alla durezza relativa. Viceversa per quelli la cui forma tipica è il romboedro, appaiono decrescenti colla durezza: in queste ancora si rileva che tali calorìe sono tanto maggiori quanta è maggiore la differenza di dilatabilità a seconda dei diversi assi del cristallo. In genere poi sono esse calorìe maggiori in queste sostanze cristallizzate che nei solidi a struttura uniforme. Non è inutile il ravvicinare questa proprietà all'altra, che cioè le sostanze cristalline hanno diversa suscettibilita di essere chimicamente attaccate dai reagenti chimici, di quando sono in istato amorfo, e si sa che la durezza è ben diversa nei due casi (1).

I fatti osservati finora sui cristalli sono ben pochi, ma se non bastano a fissar leggi generali e assolute, sono sufficienti a somministrarci una guida per studiare i fenomeni sotto un punto di vista più giusto che non si è fatto fino al presente e più fecondo di risultati, tra i quali sarà la spiegazione delle singolarità che mostra l'acqua. È da desiderare che questo studio iniziato dal Cantoni venga esteso a molti altri corpi, e noi rimettiamo il lettore al suo bel lavoro per altri risultati, e finiremo con accennare qualche cosa sui liquidi e sui gas.

In una gran parte dei liquidi non decomposti si verifica che le quantità di calorico necessarie a produrre nel volume una pari dilatazione sono maggiori in istato solido che in liquido: così abbiamo pel solfo 0,225 e 0,082; pel iodio 0,1086 e 0,0496; e pel fosforo 0,0901 e 0,0654 (2). Tutti questi valori però tanto nei solidi che nei liquidi vanno calando colla temperatura crescente, il che è

(1) V. Cantoni pag. 29.
(2) V. Cantoni pag. 40.

ben ragionevole, perchè a mano a mano che diminuiscono i legami e le resistenze naturalmente si deve esigere minor forza a separare le molecole, e queste saranno tanto più separarabili quanto più sono allontanate. Così la viscosità e l'azione capillare dell' acqua scema colla temperatura e scemano le calorìe di dilatazione.

Nei fluidi aeriformi, il lavoro interno in quanto si oppone alla coesione è sensibilmente nullo, quindi i gas perfetti a egual volume e pressione hanno la stessa capacità pel calorico; mentre anche in questi i calorici specifici a peso differiscono enormemente. Nei gas pure, tanto semplici che composti, le caloricità specifiche, e quelle di dilatazione sono maggiori a pari volume per quelli che hanno maggiore dilatabilità: esse inoltre hanno relazione colla densità loro relativa, e con quel debolissimo grado di coerenza che in essi può aver luogo. Perchè devesi avvertire che non tutti i corpi gassosi sono egualmente liberi: molti benchè siano in istato aereo alla temperatura ordinaria, sono veri vapori di corpi che anche artificialmente si possono ottener liquidi e solidi, e per questi le leggi dei gas di Gay Lussac e Mariotte non si verificano completamente: tuttavia anche per questi le calorie di dilatazione calcolate in egual modo che nei liquidi, cioè a volume differiscono molto meno che a peso, e non deve tacersi che sono maggiori pei corpi più vicini alla liquefazione: così per l'acido carbonico, l'acido solforoso e protossido d'azoto sono 0,0000116, mentre sono 0,0000083 pei gas permanenti e per l'ossido di carbonio.

Anche la facoltà conduttrice de' corpi pel calorico si trova in relazione colle suddette proprietà moleculari. In generale i corpi *duttili*, ma molli e non elastici sono cattivi conduttori, come le argille, le cere ecc. e tra i metalli i men buoni sono i più cedevoli, i più plastici e meno elastici potassio, sodio, piombo. Alla facoltà conduttrice sembrano richieste due condizioni: prima, certa scorrevolezza di parti

una sull'altra (che forma la duttilità): 2° la facoltà di far rientrare sollecitamente le molecole al loro posto (nel che consiste l'elasticità). L'una senza l'altra non basta a costituire un corpo conduttore. Tale è il caso de' corpi vitrei che godono bensì l'elasticità in sommo grado, ma non hanno la duttilità. Vedremo in altro luogo una numerosa serie di proprietà collegate con questo stato moleculare. Per ora notiamo che i metalli che godono di conducibilità più perfetta sono i più nobili, oro, argento, platino, rame, ecc. che ammettono un ampio limite di scorrevolezza delle molecole e sono i più duttili ed elastici. La ragione sembra ridursi a ciò, che più le molecole di un corpo potran fare ampie escursioni e ritornare facilmente al loro posto, tanto più facilmente potranno colpire le circonvicine ed estendersi il loro urto a maggior distanza, il che solleciterà la propagazione del moto vibratorio calorifico nel resto della massa del corpo. I liquidi conducono per moto idrostatico, ma non si deve negar loro una vera conducibilità propria, come ha dimostrato Magnus, e così nemmeno ai gas. I più efficaci in queste classi sono quelli che hanno maggior mobilità, come l'idrogeno tra i gas, e il mercurio tra i liquidi.

Concludiamo coll'osservare che discende come conseguenza dal detto fin qui, che le forze moleculari, qualunque sia la loro origine, scemano di intensità colla distanza entro il raggio proprio della loro attività, e che tutto ciò che aumenta le distanze scema l'energia di queste forze, e quindi diminuisce la quantità del lavoro da farsi per ottener un certo effetto sui corpi stessi.

Tutto insomma combina col gran principio = *che la quantità di calorico necessaria a produrre un dato effetto è sempre in proporzione del lavoro che deve farsi sulle molecole di un corpo tanto per vincere le resistenze che si oppongono a quel tale effetto, quanto per aumentare l'ampiezza delle oscillazioni e vibrazioni delle particelle del medesimo* =.

Si scorge quindi che la teoria meccanica offre modo da spiegare e collegare una infinità di fatti, finora disparatissimi, e questo solo merito basterebbe a farla adottare come ipotesi fisica sommamente ragionevole, anche quando mancassero gli altri fondamenti sì manifesti che abbiamo indicato altrove. In essa svanisce quell' assurda idea che i corpi siano come tanti recipienti in cui si addensi il calorico e sparisca come in un nascondiglio, per tornare a far la sua comparsa appresso; e i fatti ci hanno insegnato che le varie capacità dipendono solo da una diversa quantità di moto che deve comunicarsi ai corpi a fine di produrre un certo determinato lavoro, il quale è diverso a norma della grandezza dell'escursione che devono fare le molecole, e delle resistenze che devono superarsi.

§. 13.

Dello scambio del calorico tra i corpi di natura diversa: legge degli equivalenti chimici.

Fin qui abbiamo studiato le modificazioni prodotte nei corpi dal calorico considerando solo le proprietà fisiche e i loro stati diversi, ossia le forme dipendenti da quella che dicesi attrazione *omogenea*: ora dobbiamo passare ad esaminare i suoi effetti nei corpi chimicamente differenti e in ordine all'attrazione *eterogenea*. Qui due cose dovremo considerare: 1° le quantità di calore necessarie per alzare la temperatura delle sostanze chimicamente diverse: 2° le quantità di calore che si sviluppano nelle combinazioni chimiche. Cominciamo dalla prima.

Si è trovato generalmente vero che per la stessa sostanza mescolando due masse ineguali a temperature diverse, la temperatura risultante è la media delle due avuto riguardo ai pesi delle masse; il che essendo analogo a quanto avviene nello scambio di moto di due masse prive

di elasticità, viene da ciò appoggiata la teoria dinamica del calorico. Dissi generalmente, perchè decrescendo le capacità coll'aumentare delle temperature, tal norma non può essere rigorosa.

Quando però si mescolano corpi di natura diversa e perciò anche di capacità differente, di queste pure devesi tener conto, e la misura della energia calorifica è in ragione composta del prodotto della massa moltiplicata per la temperatura, per la capacità e per l'equivalente meccanico del calorico (1). Qui noi dobbiamo investigare qual relazione abbia la capacità calorifica colle altre proprietà che definiscono la natura de' corpi.

Se esaminiamo una tavola di calori specifici considerandoli in ordine alle densità o pesi specifici de' corpi non apparisce alcuna relazione tra i due elementi: molta connessione si scorge, come si disse, colle proprietà fisiche dovute all'attrazione molecolare, ma si è lungi dal poter stabilire su di esse una legge rigorosa. Ma se usciti dal dominio della fisica ci rivolgiamo agli elementi chimici, troveremo più facilmente una connessione di grande importanza. Messo a confronto il calorico specifico C col peso P dell'equivalente chimico o *peso atomico*, risulta che quello è maggiore dove questo è minore, talchè il prodotto CP resta una quantità costante. Questa insigne scoperta fatta da Dulong e Petit fa entrare tutta la chimica nel dominio della meccanica, e dobbiamo fermarci alquanto su di essa.

Questa legge stabilita dai suoi scopritori per un certo numero di corpi solidi metallici, si è trovata vera molto prossimamente per tutti gli altri corpi semplici, e per un grandissimo numero di composti, e può dirsi generale, se si ammettano alcune limitazioni, cioè: 1° che il prodotto CP non è lo stesso per tutti i corpi detti elementari, ma varia in vari gruppi e categorie: 2° che nei corpi com-

(2) Rankine B. U. *Arch. sc. phys.* 1859 vol. V. pag. 68.

posti il prodotto risultante è prossimamente la somma de' prodotti parziali de' suoi componenti: 3° che nel valore di questo prodotto influisce lo stato fisico del corpo.

Per i solidi elementari metallici, si trova il valore del prodotto $CP = 3,13$ (1). Le divergenze da questo medio sono cosa assai piccola se si confrontano colle variazioni dei fattori che compongono il prodotto, perchè mentre i calori specifici variano da 1 a 30,5, i prodotti *CP* variano solo da 2,97 (alluminio) a 3,32 (sodio).

I corpi non metallici, boro, fosforo, silicio, iodio, poco si scostano da questo prodotto e danno gli estremi 2,86 e 3,43; ma è noto come questi corpi abbiano diverse strutture moleculari che realmente creano una difficoltà nella determinazione de' dati elementari da cui dipende quel prodotto. Anzi riflettendo alle difficoltà pratiche degli esperimenti e ai numerosi elementi da cui si deducono quelle cifre, è piuttosto da meravigliare di una tale concordia, anzichè restare sorpresi delle piccole differenze.

Nei corpi semplici liquidi il prodotto è 3,69 non guari ancor esso diverso da quello de' solidi.

Pei gas perfetti, cioè ossigene, nitrogene, idrogeno, è 4,35 purchè si divida per due l'equivalente dell'ossigene. Questa suddivisione dell'equivalente si trova necessaria per diverse altre sostanze per rientrare nella legge generale, e non è difficile desumerne la ragione dal diverso numero di atomi che entrar possono in quella che noi conosciamo per combinazione più semplice, ma che può non esser tale. Anzi il vedere che questa suddivisione ha luogo nell'ossigene di cui conosciamo uno stato allotropico che costituisce l'ozono, e che secondo Clausius con tutta probabilità consiste in questo stesso gas, ma ad atomi dissociati, ci fa so-

(1) Adottiamo i numeri dati dal Cantoni che suppongono eguale ad uno il peso dell'equivalente o atomo dell'idrogeno. Quelli dati dagli altri autori si riferiscono all'ossigene 100 e si riducono a questi dividendoli per 12,5.

spettare che lo stesso accader debba per gli altri corpi, della quale opinione vedremo quanto prima altre prove.

Il cloro e il bromo danno 4,310 e 4,316 diversità dal medio generale non sorprendente in corpi di cui è tanto dubbia la semplicità elementare.

Questa legge si estende come si disse anche ai corpi composti, e si verifica che il calorico specifico del composto è uguale prossimamente alla somma de' calorici specifici degli atomi semplici che lo compongono, avuto però sempre riguardo al loro numero relativo. Il prodotto varia alquanto da un composto all'altro, ma resta costante per uno stesso acido, e per una medesima formola di composizione. Ecco un saggio di queste relazioni nelle quali *R* indica il radicale.

Sostanze	*Composizione*	*Valore di* CP
Solfuri	R S	2 × 2,98
Clorури	$R\ Cl^2$	3 × 3,12
id.	$R^2\ Cl^2$	4 × 3,17
Ossidi	R O	2 × 2,76
id.	$R^2\ O^3$	5 × 2,72
Acidi	$R\ O^2$	3 × 2,31
id.	$R\ O^3$	4 × 2,26
Carbonati	$CO.^2\ RO$ . . .	5 × 2,14
Solfati.	$SO.^3\ RO$ . . .	6 × 2,22
Nitrati	$Az\ O.^5\ R^2\ O$.	9 × 2,67

Nell'ultima colonna il primo fattore esprime il numero degli atomi, che formano il composto, e l'altro il moltiplicatore che dovrebbe essere il valore dei prodotti *PC* dato di sopra per i corpi isolati, ma apparisce che questo fattore è generalmente minore, benchè non gran fatto. Quindi non può dirsi generale ciò che fu stabilito da Garnier che i calori specifici di tutti i corpi semplici o composti sono in ragione inversa dei pesi atomici medii, perchè

più si alza il grado della combinazione, più diminuisce il fattore secondo, ed è stato osservato che esso tanto più decresce quanto è meno stabile la combinazione (1).

Questa costanza del prodotto *PC* conduce a conseguenze di sommo momento. La prima è che per queste sostanze è uguale il calorico specifico di masse chimicamente equivalenti, onde la stessa quantità di calorico è impiegata ad alzare alla stessa temperatura masse diversissime, quali sono i diversi pesi delle sostanze che corrispondono ad un equivalente; così la quantità che alza a una data temperatura 16 grammi di solfo, ne alzerà 28 di ferro, 58 di stagno, 103,5 di piombo, perchè tali sono i pesi che in queste sostanze sono equivalenti (2).

Si deduce in 2° luogo (come già accennammo altrove) che gli ultimi atomi de' corpi di *una stessa categoria* hanno lo stesso calorico specifico. Infatti essendo il calorico specifico e il peso atomico in ragione inversa, siccome il peso di essi atomi e il loro numero in masse uguali sono ancora in ragione inversa, ne segue che il calorico specifico è in ragione diretta del numero degli atomi e che perciò è identico per un egual numero de' medesimi (3).

Considerando in terzo luogo che non tutti i corpi detti comunemente semplici danno il prodotto *CP* eguale, sono stati portati de' valenti chimici a credere che molti di essi siano realmente composti, e che la diversità di que' prodotti dipenda dal diverso numero delle molecole concorrenti a formare la sostanza. Donde si conclude che le nostre forze analizzatrici si arrestano avanti a gruppi molecolari diversi nei metalli e nelle altre sostanze (4). Grosham

(1) Hirn pag. 356. Kopp. C. R. 1863.

(2) V. Cantoni op. cit. pag. 10.

(3) L'eguaglianza de' prodotti $PC = P'C'$ dà $C : C' :: P' : P$, e in masse eguali $m = Pn$, $m = P'n'$ si ha $P' : P :: n : n'$, donde colla prima $C : C' :: n : n'$; fatto $n = n'$ si ha $C = C'$.

(4) Kopp. loc. cit.

crede provato da certi delicati confronti fatti sui vapori che il solfo, il bromo, lo iodio, il cloro siano composti (1).

Finalmente facendo astrazione dalle piccole eccezioni e diminuzioni di valore che accadono ne' prodotti *PC* col crescere della composizione, (la qual cosa può soltanto riguardarsi come una perturbazione alla legge per una ragione che cercheremo di investigare appresso), si rileva che le capacità de' corpi semplici restano costanti quando entrano nelle diverse composizioni, il che si verifica anche quando ad un atomo detto semplice si sostituisca un altro notoriamente composto, come il cianogene e l'ammonio.

La conclusione spontanea che discende da questi fatti è che per comunicare eguale temperatura ai diversi atomi elementari, si esige la stessa quantità di forza viva calorifica siano essi isolati o in composizione. Questa legge, per esser trovata vera rigorosamente, esige o che le molecole del corpo siano perfettamente libere, onde tutto il calore sia impiegato ad elevare la loro temperatura, o almeno che tutte siano in parità simili di circostanze, ma è manifesto che variate queste avremo un risultato differente. Così essa si verifica pei gas liberi, perchè essi sono appunto nell' indipendenza assoluta, e si verifica relativamente pure nei metalli, perchè allo stato in cui si opera su di essi, le circostanze fisiche di mobilità pel loro gruppo possono stimarsi quasi identiche; ma abbiamo veduto che nei due casi i prodotti *PC* sono ineguali.

Tutto adunque indica la giustezza della legge come *limite*, ma per verificarla in tutti i corpi bisognerebbe prenderli tutti ad egual punto di coesione, egualmente lontani dalla fusione o dalla volatilizzazione, e in una parola a punti in cui fossero egualmente influenzati dalle forze dette moleculari. Ora la scienza è ben lungi dal poter rispondere di tutto questo, e perciò resta solo a considerare

(1) B. U. *Arch. sc. Phys.* 1863 vol. XVII pag. 41.

tal legge come vera teoricamente, ma che in pratica è soggetta alle perturbazioni derivanti dalle suddette cagioni.

E che ciò sia non una mera congettura, ma cosa assai ragionevole lo possiamo appoggiare con un fatto. Ha trovato il sig. Grosham (1) che le densità de' vapori de' corpi composti di carbonio, idrogene e ossigene ed aventi la formola $Cp\,Hq\,Or$, presi a pressione eguale e a temperature corrispondenti, come sono quelle dell' ebullizione, sono in ragione diretta del numero degli atomi $p + q + r$. Egli ha indicato le deviazioni da questa legge in certi casi e ha mostrato esistere rapporti assai semplici nei valori esprimenti queste deviazioni nei vari gruppi. Ma per verificare tali leggi è mestieri partire dalla temperatura —273° che è quella dello zero assoluto. Quest'esempio particolare toccato qui di volo, mostra la necessità di esaminare i corpi in parità di circostanze.

Possiamo adunque stabilire come dimostrato che le diverse capacità calorifiche dei corpi sono un risultato della loro aggregazione, ma che i loro atomi presi isolatamente l'avrebbero tutti eguale, cioè che una medesima quantità di calore produrrebbe la medesima elevazione di temperatura in un medesimo numero di atomi del corpo sia semplice sia composto. Nella teoria meccanica del calore, questo equivale a dire: che una data energia meccanica produce egual lavoro su tutti gli atomi dei corpi ogniqualvolta essa non ha da vincere che l'inerzia degli atomi stessi. Ora questi atomi avendo masse diversissime come consta dai loro pesi risulta che essi concepiranno pure velocità sommamente diverse. E se dalla considerazione del lavoro passiamo a quella delle pressioni o delle forze virtuali corrispondenti che esprimono le intensità delle percussioni, ne segue che la medesima forza imprimer deve delle velocità reciprocamente proporzionali alle loro masse. Così la legge

(1) *Arch. sc. phys.* loc. cit.

di Dulong e Petit fa entrare i fenomeni della capacità calorifica dei corpi nella legge elementare dello scambio del moto tra i medesimi. Quindi si conclude come si fece pei gas (1) che la velocità moleculare impressa ad una data temperatura a diversi corpi non è la stessa in tutti, ma che essa è maggiore per quelli in cui la massa è minore. Di qui forse si può spiegare la maggior mobilità ne'corpi di massa atomica minore, come sono l'idrogeno, il carbonio, e i loro composti gl'idrocarburi. Ed anche probabilmente dipende dalla piccolezza di questa massa e dalla grandezza della velocità la sterminata varietà dei composti che son formati dai corpi di peso atomico più piccolo, quali sono idrogeno, carbonio, ossigene e nitrogeno, che racchiudono una infinità di combinazioni e tra esse tutte le organiche.

Veduta la legge dobbiamo ora occuparci delle eccezioni. La principale che si presenta è quella che dipende dalla struttura molecolare, o dallo stato in cui si trova un corpo solido o liquido: talchè restando lo stesso il peso *P*, il prodotto *PC* varia non solo nei vari gruppi, ma anche nella stessa sostanza collo stato fisico del corpo. Così il diamante dà 2,05 e il nero animale 3,13; l'acqua 3,00 e il vapore 1,16 (2); il piombo fuso 4,17 e solido 3,25, ecc. e pure sono gli stessi elementi nei due casi, onde è manifesta l'influenza dello stato fisico.

La spiegazione che può darsi di questa diversità non è difficile. Si è veduto sopra che la capacità de' corpi pel calorico dipende dalla diversa mobilità delle parti e dal lavoro che si deve fare per disgregarle, onde essa varia coi legami fisici a cui sono soggette. Quindi anche il prodotto *PC* deve variare con questi elementi, come quelli che fanno variare il lavoro di disgregazione. Così già pei gas abbiamo veduto che la differenza di capacità a volume e a pressione costante dipendeva da simile cagione.

(1) V. sopra pag. 67.

(2) Hirn dà 37,5 e 14,2 ma rapporto all'ossigene 100.

Considerando però la cosa dal semplice lato meccanico una diversità deve derivare dal mutamento del momento d'inerzia che subir devono le molecole secondo il loro diverso aggruppamento. A chiarire ciò è da richiamare alcuni principii intorno all'urto de' corpi in rotazione.

Primieramente l'urto di un corpo dotato di due movimenti rotatorio e traslatorio, quali noi supponiamo negli atomi, si fa come se esso avesse un moto rotatorio semplice, ma che si aggirasse attorno ad una linea chiamata dai meccanici *asse spontaneo di rotazione*, che passa a una certa distanza dell'asse vero di rotazione il quale ne' corpi liberi attraversa il centro di gravità. Quindi per determinare le percussioni degli atomi rotanti possono esse riferirsi a questo asse spontaneo e prescindersi dalla traslazione.

In 2° luogo la percussione di un corpo rotante si fa con tutta la sua forza *mv* solo quando esso percuota in modo che l'urto passi pel centro di gravità, ma invece se percuota in altro modo, non si avrà altra impulsione che quella corrispondente a una frazione della sua massa (1): ora questa frazione dipende dalla quantità detta *momento d'inerzia* del corpo dai meccanici, che è essenzialmente dipendente dalla forma del corpo stesso. Quindi se in un corpo in moto rotatorio venga a variare tal momento di inerzia, varierà necessariamente la quantità della percussione per un dato suo punto. Il che è manifesto teoricamente pel principio della conservazione delle aree, ma si farà chiaro con un esempio. Immaginiamo una verga rotante in un piano orizzontale attorno un asse verticale, e siano sulla verga infilate due masse scorrevoli, ma ritenute da un filo onde restino ad un punto determinato della sua lunghezza di

(1) V. Poinsot *op. cit.* pag. 16 e 66, ove si dimostra che il massimo urto si ha quando esso percuote alla distanza dall'asse spontaneo pari al braccio di inerzia del corpo stimato attorno al medesimo asse spontaneo.

quà e di là dal mezzo, come si suol praticare negli esperimenti della forza centrifuga. Se mentre la verga è in rotazione uniforme per la mera forza d'inerzia, si tronchi il filo che lega le due masse, esse si separeranno vieppiù, e in tal atto diminuirà la celerità angolare della verga, e varierà il momento d'inerzia del sistema, e un ostacolo che fosse presentato allo stesso punto della verga nei due diversi casi avrebbe ricevuto impulsione differente. Poniamo ora che inoltre si tolgano tutti gli ostacoli che ritengono le palle sulla verga, esse andranno per la tangente, e le loro percussioni saranno ancora diverse da quelle dei casi precedenti: onde per ottenere egual percussione abbisognerebbe nei tre casi avere impiegata diversa quantità di azione a muovere quel sistema, e potrebbe realmente dirsi che il sistema nei tre casi ha diversa capacità di moto. In pratica è notissimo come si ottenga nelle macchine una regolarità nei movimenti mediante il pendolo conico, il quale per concepire una medesima velocità di rotazione assorbe forza diversa secondo l' allargamento delle palle, e il suo momento d'inerzia.

Siccome adunque l'intensità dell'urto d'un corpo rotante oltre la massa e la velocità dipende dal momento d'inerzia attorno l'asse spontaneo di rotazione, così la energia calorifica è misurata dalla massa, dalla velocità delle molecole, e dal coefficiente di capacità, il quale appunto sembra dipendere da questo stesso momento. Se il fatto or ora allegato non può dirsi una spiegazione di ciò che accade nei corpi nella mutazione di stato, può però illustrare in qualche modo ciò che deve accadere in essi a seconda che le molecole sono o affatto libere o ritenute da vincoli della cui natura qui non è mestieri interessarsi: ma è evidente che mutate le distanze, mutando i momenti d'inerzia, deve variare la potenza dell'urto che costituisce il calorico. Non è possibile entrare in ulteriori particolari perchè non conosciamo le forme delle molecole, nè quelle de' loro

gruppi, ma ciò basti a far vedere quanto debba riuscir difficile nei singoli casi l'applicazione de' principii generali della meccanica alla costituzione moleculare de' corpi. Onde non è da presumere che si possa rispondere perentoriamente a tutte le questioni che concernono tal materia, giacchè nè anche può farsi questo nella meccanica de'corpi ordinari.

Dalle conclusioni sopra esposte in ordine alla capacità costante degli atomi pel calorico, si è dedotto da alcuni che la forza calorico agisce sugli atomi materiali di una maniera periferica e tutt'affatto indipendente dalla lor massa e dalla loro natura, e che si dirige al volume e al numero e non alle masse. Queste conseguenze non ci sembrano tutte egualmente giuste. Che la forza calorifica abbia relazione ai volumi non può negarsi, anche considerati i bei riscontri trovati dal Cantoni ed esaminati di sopra, che da sè soli ne dimostrano la verità. Ma non così sembra che si possa ammettere che essa sia indipendente dalle masse, a meno che non si ammetta eziandio che eguali temperature suppongono eguali velocità nelle molecole, il che non è provato. Anzi siccome la temperatura si misura colla forza viva, nell'apprezziazione della quale entra la massa, da questa pure deve dipendere, e solo se ne può concludere che la velocità delle molecole di differente natura è diversa per una stessa temperatura. Onde non segue quindi che il calorico sia punto una forza *sui generis* la cui azione sia indipendente dalla massa o dall'inerzia del corpo, il che se fosse vero distruggerebbe ogni teoria meccanica del calore, ma solo che esso non imprime velocità eguali a masse disuguali come fa la gravità, ma resta soggetto alla legge generale dello scambio del moto, che le velocità virtuali siano in ragione inversa delle masse (1). Nè in ciò differisce dalle altre forze nè dalla gravità stessa, perchè questa imprime velocità eguali a tutti i corpi, ma solo nel caso che siano liberi e non collegati

(1) Rankine B. U. 1859 Tom. V pag. 68.

in sistemi, nel qual caso le velocità sono modificate, come si vede nella macchina d' Atwood. Forse soltanto gli ultimi atomi della materia in istato perfettamente libero concepiranno velocità eguali per un moto calorifico comune che loro sia impresso, ma dove molti si trovino riuniti a formare una molecola, il momento d'inerzia della massa composta dipenderà dalla sua forma, e si esigerà diversa quantità di energia per dargli la stessa velocità rotatoria e traslatoria da cui proviene l' intensità dell'urto termico ne' corpi.

Quindi cadono da per se le obbiezioni che sotto questo rispetto si volessero fare alla teoria che difendiamo, e negare per ciò la trasformazione del moto meccanico in calore secondo le leggi di scambio proprie della meccanica ordinaria. Del resto nei corpi non gassosi sarebbe assai inadequato il considerare questo scambio solo dal lato dell'inerzia, appunto come ciò non può farsi sempre nella meccanica ordinaria, perchè dovunque entrano in campo altre proprietà fisiche della materia, di queste ancora si deve tener conto, e tali sono l'elasticità, la tensione delle parti ecc. Così non al solo peso o alla sola inerzia può aversi riguardo nell' intensità de' suoni emessi da' corpi in vibrazione, nè tutti sono disposti a vibrare solo in rapporto colle lor masse.

Finora noi non abbiamo introdotto l'esistenza di verun mezzo in cui si trovassero immerse le particelle de'corpi, e del quale potessero trar seco una parte secondo l'ipotesi de' vortici moleculari, talchè le cose dette sono vere in qualunque sistema. Ammesso tal mezzo la sua azione sarebbe da considerarsi soltanto come equivalente al lavoro passivo che nella teoria ordinaria si attribuisce alle forze moleculari. È evidente che nel caso di un tal mezzo all'unirsi che facessero più vortici in uno non potrebbe più restare lo stesso il momento d'inerzia e la rotazione del sistema. Ma per ora facciamo a meno d'introdurre tali ipotesi acciò la teoria meccanica del calore riesca affatto indipendente

dalle considerazioni di cause che vengono suggerite da altre classi di fenomeni.

Concludiamo quindi che possiamo stabilire come legge *limite* di natura che i singoli atomi della materia abbiano eguale capacità pel calorico, ma che non per ciò deve essa riuscire eguale nei sistemi composti, e la mutazione di essa nel cambiamento di stato o nella combinazione chimica derivar può o da una mera mutazione del momento d'inerzia delle molecole composte, o dal lavoro necessario a vincere le forze moleculari che le uniscono; il quale ultimo lavoro potrebbe consistere in dare una nuova disposizione alle varie atmosfere che circondano ciascuna molecola particolare.

Tutto quello che si è detto in questo articolo suppone esser la materia costituita di atomi distinti, del che ne hanno altre prove i chimici; ma se anche vi potesse esser dubbio su di ciò, le leggi medesime che abbiamo esposto non potendosi intendere senza tale supposizione, basterebbero esse sole a provar vero un tale assunto, del che oggidì può appena esser controversia presso chi si conosce di chimica.

§. 14.

Del calorico svolto nelle azioni chimiche.

L' azione chimica è la più feconda sorgente di forza posta a disposizione dell'uomo: da essa abbiamo gli effetti meccanici più violenti di cui si usa nell'arte della guerra e delle mine: essa è la sorgente prima della potenza nelle nostre macchine caloriche: essa mantiene in moto le masse che sono animate dalla vita. Ma l' azion chimica è una forza sommamente astrusa nella sua natura, e coperta da alto mistero nel suo modo di agire; e vana riuscirebbe ogni speculazione per definirla se non avesse per base i fenomeni di cui essa è sorgente. Una cosa sola sappiamo

di certo ed è che essa non opera mai a distanza, e che il contatto (almeno apparente) è come nella comunicazione del moto una condizione indispensabile alla sua operazione. Come nelle altre forze di cui non ne conosciamo la natura siamo costretti a valutarla da suoi effetti, e uno di questi essendo appunto la produzione del calore, l' ordine della trattazione ci conduce ad esaminare i suoi rapporti con questo agente.

Poche sono finora le relazioni scoperte tra le azioni chimiche e le altre leggi che reggono la materia, malgrado gli immensi sforzi fatti dall'industria e dalla scienza; tuttavia diversi punti sono stati messi in luce sufficiente e possono ricevere il nome di leggi. Diedero fondamento a stabilirle dapprima le ricerche di Rumford, Dalton e Dulong sulle combustioni, fenomeno il più importante nelle arti: Favre e Silbermann hanno recentemente esteso queste indagini a moltissime sostanze, con mezzi di squisita esattezza, ed han confermato diverse verità, che per importanza in ordine alla quantità di moto gareggiano con quella delle proporzioni determinate relative alle quantità delle masse.

Una legge fondamentale è che *per ciascuna combinazione chimica la quantità di calorico svolto è definita e costante*, ed indipendente dalla celerità con cui si opera la combinazione, talchè egual calore si svolge per es. in una ossidazione della stessa sostanza sia essa violenta e luminosa, sia essa tranquilla ed oscura: solo in quest' ultimo caso è più difficile impedirne la dispersione, quindi è che al volgo potè parere diversa la copia di calorico generata. Così pure ove il prodotto della combinazione resti mescolato all'altra massa del corpo non combinata, come nelle idratazioni degli acidi, egual calorico si sviluppa per eguali quantità di combinazione prodotta, sia la miscela fatta a poco a poco o tutta in un tratto.

Rilevossi inoltre che i composti più stabili sono quelli che nel prodursi generano maggior numero di calorie,

e che quindi diminuisce il calore alzandosi il grado di combinazione. Sotto tal rapporto l'ordine de' corpi sperimentati come combustibili è il seguente, potassio, sodio, zinco, ferro, piombo, rame, argento, e pei metalli comburenti o metalloidi cloro, bromo, ossigeno, iodio, solfo. Il composto dell'idrogeno ed ossigeno che forma l'acqua non è de' più stabili come fu creduto da un pezzo, e da Grove fu essa decomposta a temperature alle quali resistettero l'ossido di zinco e di argento, ed altri corpi.

Questa gradazione di corpi è ancor lungi dal poter stabilire una misura accurata della energia chimica. E come noi non possiamo finora stabilir la ragione del diverso peso atomico delle diverse sostanze, così non ci è dato di stabilire la legge delle diverse quantità di calorico che si svolgono nelle varie combinazioni. Ma come i pesi atomici sono multipli di quelli di una certa sostanza (l'idrogeno) così non è impossibile che il calorico svolto nelle diverse combinazioni sia multiplo di quello che in qualche altra si desta. Woods propose appunto di prendere per misura dell' affinità chimica la quantità di calore svolto nelle combinazioni, e congiungendo le proprie ricerche a quelle di Silbermann, trovò che per molti composti dell' ossigeno apparisce esser le quantità di calorico svolte da un equivalente chimico multiple assai prossime di quella che svolgesi nella combinazione dell'equivalente dello iodio. Il qual risultato considerato come un primo passo verso una legge è già di alta importanza.

Le leggi si mostrano più complesse a mano a mano che cresce il grado delle combinazioni. Così alcuni acidi (azotico, cloridrico, bromidrico, iodidrico) combinandosi colla stessa base producono egual copia di calorico, altri invece tra quali è il solforico, ne producono molto di più: e in genere il calore è diverso per un medesimo acido variando la base. Questi fatti ancora non ben esaminati in tutta la loro generalità suppongono certamente una legge

che resta ancora nascosta e mascherata dalle varie circostanze influenti, e specialmente dal non essersi ancora indovinato il vero termine di confronto: ma che tal legge vi debba essere lo dimostra il fatto seguente.

Si è trovato che nella permutazione delle basi de' sali neutri mescolati insieme non producesi elevazione di temperatura ove ambedue i nuovi sali risultanti restino sciolti nel liquido: ma solo la temperatura s' innalza ove uno precipiti in stato solido. Il calore qui è evidentemente prodotto dal cambiamento di stato, e nel caso che non si muti stato la costanza della temperatura mostra che egual calorico si svolge nella sintesi quanto assorbesi nell'analisi di questi sali. È questo il caso analogo a quello donde si concluse la costanza degli equivalenti di massa, appunto perchè due sali neutri mescolati davano precisamente per risultato due altri sali neutri: ed è da connettersi questo fatto colla legge di egual caloricità specifica degli equivalenti.

In generale si ammette che tanto calore si assorbe nell'analisi quanto se ne svolge nella sintesi. Di questo assorbimento ne abbiamo già veduto un caso nella dissociazione dell'acqua (1), e non per altra ragione è mestieri scaldare sommamente certi composti per decomporli, se non perchè appunto è mestieri dar loro il calorico necessario al nuovo stato, cioè dar loro tanto di velocità moleculare che possano vincersi non solo i legami fisici, ma anche i chimici. Inoltre siccome comunemente uno o più de'corpi passano anche a diverso stato fisico mentre escono dalla chimica combinazione, così dovrà tenersi conto di tutte le calorie tanto in senso positivo quanto negativo che concorrono al nuovo stato per stabilire la quantità definitiva di calorico da darsi a un corpo per decomporlo.

Quindi accade che ancora le analisi talora sieno accompagnate da svolgimento di calore, e non sono rari tali

(1) V. sopra pag. 77.

casi, ma in questi per lo più il calorico non è dovuto direttamente all'analisi come tale, ma alle sintesi più intime che hanno luogo in tali circostanze onde il corpo passa a stato più stabile (che come si disse produce più calore) o è dovuto al cambiamento di stato che ne deriva. Questo si verifica specialmente nella decomposizione de' composti di origine organica che danno luogo ad altri più fissi. Così p. es. la combustione della piroxilina, o coton polvere al primo aspetto sembra una analisi, e tale lo è se risguardiamo la piroxilina stessa, composto assai complesso di idrogeno, ossigeno, carbonio e nitrogene, ma se esaminiamo i prodotti della combustione vedremo nascerne delle sostanze immensamente più stabili in combinazione, come sono acqua, acido carbonico, ossido di carbonio, nelle quali si produce assai più calore che non ne assorbe la libertà data al nitrogene e lo scomponimento dei primi aggruppamenti. Questi corpi possono in certo modo considerarsi come ammassi di gas compressi enormemente per virtù delle forze moleculari stesse, i quali si combinano ad uno stato più intimo quando operi su di essi una causa opportuna. Tal causa è comunemente l'elevazione di temperatura prodotta in un punto della massa, che è capace di turbare l'equilibrio instabile in cui si trovavano le molecole per farle passare ad uno più stabile. Lo stesso dicasi della combustione della polvere da cannone, nella quale devesi inoltre considerare che due nuove sostanze elementari passano in istato di combinazione mentre prima erano a stato semplice e solo mescolate e ritenute da debole coesione fisica, cioè il solfo e il carbonio, e vi si può aggiungere per terza l'idrogeno misto al carbonio nel carbone vegetale. Queste sintesi suppongono è vero la decomposizione del nitro, ma questa assorbe molto meno calore che la formazione dell' acqua e de' solfati e carbonati, dei solfuri di carbonio e potassio che si generano ecc. Una analisi quantitativa degli equivalenti calorifici di questi prodotti non è ancor fatta che

io sappia, ma da essa potrebbesi calcolare che il calore prodotto nella sintesi è ben superiore a quella dell'analisi del nitrato di potassa, perchè questo sale ha equivalente calorifico assai più basso che il solfato della stessa potassa, e gli altri composti che si formano possono ben compensare la minor quantità che si forma del secondo riguardo al primo. Onde anche in questo caso il calore è dovuto non alla decomposizione, ma alla sintesi.

È da avvertire pure che uno sviluppo di calore si ottiene talora nei corpi anche senza azione chimica, e per puro passaggio da uno stato moleculare all'altro, come succede nel fosforo, nel solfo e simili: quest'ultimo pel solo passare dallo stato prismatico all'ottaedrico svolge fino a 12° di calore. A queste ultime operazioni pertanto può spesso rivocarsi il calorico nato nelle chimiche analisi come per esempio nella decomposizione dell'ossido di argento, e di altri ossidi, e specialmente dell'acqua ossigenata. Nè ciò è inverisimile sapendosi che l'ossigene ha doppio stato cioè il comune e l'altro di ozono. In genere poi sempre vi concorre il mutamento di stato che più o meno frequentemente accade in tali operazioni, e il grado d'aggregazione precedente, com'è p. es. del carbonio che svolge diverso calore bruciando nei suoi vari stati di diamante o di tessuto vegetale. Dopo queste considerazioni è assai difficile decidere, se le analisi come tali producano realmente calore, potendosi sempre sospettare che entri in giuoco un altra azione capace a destarlo. Noi lasceremo ai chimici la sentenza.

Come esiste un rapporto costante tra le masse che formano vari gradi delle combinazioni, così esiste un definito rapporto per i gradi di calore svolti nei vari ordini di azione chimica. Ciò si scorge nei diversi gradi di idratazione degli acidi e specialmente del solforico; ma sopratutto nei corpi composti aventi formole chimiche analoghe, come per es. i bicarburi d'idrogeno, nei quali si è

trovato che le calorie diminuiscono di 37,5 per ogni volta che gli elementi del carburo si ripetono nella combinazione (1). Ma devesi avvertire che non la sola quantità relativa degli elementi chimici concorre allo svolgimento suddetto, ma anche la disposizione delle molecole; onde avviene che i corpi *isomeri* benchè abbiano egual numero di equivalenti chimici, avendo però una diversa interna collocazione degli elementi stessi producono diverso calore nelle combinazioni. Quindi viene a confermarsi che non solo la quantità e la natura della materia, ma anche la distribuzione delle sue parti nel composto influisce sulle proprietà fisiche del corpo e sullo svolgimento di calore.

Noi qui non possiamo, nè dobbiamo entrare nel gran pelago che è l'odierna chimica, che non è per la nostra prora; bastino questi cenni per fare accorti che questa forza è come tutte le altre della natura una forza *definita,* e che può ridursi ad un lavoro moleculare in istretta relazione col calorico. « L'affinità, dice Bunsen (2), ossia la forza che determina l'unione delle particelle de' corpi diversi e ne fa un corpo composto, è tanto in riguardo alla quantità che alla qualità una grandezza definita, che come tutte le altre forze della materia non può esser creata nè distrutta. È quindi una forma di parlare assai male scelta il dire che in certe circostanze un corpo ha una affinità e in altre la perde. Questa espressione non può avere altro significato che quello di dire, che in alcune circostanze i corpi sono liberi a seguire l'attrazione delle forze chimiche, mentre in altri casi sono impediti di farlo da forze operanti in direzione opposta. Queste attrazioni opposte che devono esser vinte prima che possa arrivare ad eseguirsi la combinazione, possono paragonarsi agli attriti e alle resistenze

(1) Pei molti fatti qui citati, oltre i lavori originali possono consultarsi il *Manuale di fisica* di Cantoni pag. 547 e il *Trattato di fisica* di Daguin tom. 2.

(2) *Phil. Trans.* 1857 pag. 381.

che ostano al moto, nella maniera stessa che accade alla corrente elettrica nei conduttori metallici, alla distribuzione del calorico nella conducibilità dei metalli, alla comunicazione del magnetismo, ecc. Noi vinciamo queste resistenze ed acceleriamo la combinazione coll'agitazione, coll'aumento di temperatura, coll'azione di un terzo corpo che resta talora non combinato (azione catalittica), coll'azione della luce e del sole, e via discorrendo ».

Questo passo desunto da uno de' più distinti chimici d'oggidì, ci fa vedere sotto quale aspetto dobbiamo considerare l'affinità, cioè come una causa di moto a cui possono crearsi attriti e resistenze, e promuoversene gli effetti con ogni specie di mezzi meccanici, onde non altra origine dovrà ad essa assegnarsi che puramente meccanica. Altrove cercheremo di metter meglio in luce questo concetto, ma prima è mestieri studiare i vari altri modi sotto i quali essa si manifesta, il che non può farsi senza lo studio delle altre affezioni della materia.

Per ora qualunque sia il principio che determina le unioni eterogenee de' corpi, non è difficile il dimostrare che ove avvenga una di esse, in virtù della quale alcune molecole in moto aventi masse diverse, dall'essere indipendenti passano a far parte di un composto qualunque, sempre deve risultarne un eccesso di forza viva disponibile, la quale non potendo annientarsi, darà origine a un moto della massa che costituirà uno svolgimento di calore. Infatti abbiamo nel § precedente veduto che gli atomi elementari doveano avere eguale capacità calorifica, e che negli equivalenti chimici dovea essere eguale il prodotto della massa per la velocità. Quindi si [illegible] mentre i corpi sono separati

$$mv = m'v' = a.$$

Se questi per una azione qualunque vengono a riunirsi in una molecola o atomo composto, questo prenderà una ve-

locità media delle due in rapporto colle masse, che sarà u, e avremo dietro la legge della collisione de' corpi non elastici per la molecola composta,

$$(m + m') u = 2a,$$

attesochè la quantità di moto del sistema non è punto variata. Ma la somma de' lavori o forze vive nei due casi sarà diversa, perchè nel primo caso è

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{m'v'^2}{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{m^2 v^2}{m} + \frac{m'^2 v'^2}{m'}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{a^2}{m} + \frac{a^2}{m'}\right),$$

e nel secondo caso dopo l'unione

$$\frac{(m + m') u^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{(m + m')^2 u^2}{m+m'} = \frac{1}{2} \frac{4a^2}{m + m'}.$$

Il primo di questi valori supera il secondo di

$$\frac{a^2}{2} \frac{(m - m')^2}{mm' (m + m')};$$

la qual quantità essendo essenzialmente positiva per masse diverse, si vede che dopo l'unione delle due molecole eterogenee vi sarà svolgimento di forza viva disponibile. Questo teorema è applicabile non solo alle azioni chimiche, ma anche alle riunioni moleculari di attrazione detta omogenea, in quei casi in cui si suppongono disuguali le masse che vanno a formare il nuovo complesso, e può applicarsi al caso di un gruppo di molecole solide che si accoppiano alle sciolte di un liquido, o di quelle di un liquido che condensano le isolate di un vapore.

La ragione di tale sviluppo di forza viva disponibile, l'abbiamo già accennata sopra (1) quando esaminammo il

(1) V. pag. 103.

cambiamento del momento di inerzia che derivar dovea nei corpi per tale agglomeramento o separazione di parti, ed è presumibile che anche nelle azioni chimiche il calorico dipenda dalle figure e dai momenti di inerzia come nelle attrazioni moleculari omogenee. In queste combinazioni deve accadere spessissimo che una differenza di velocità introducasi nella traslazione a spese della rotazione, come si disse a proposito del cambiamento di stato.

Alcuni hanno invocato come sorgente del calore nelle azioni chimicbe l'attrito delle molecole, ma questo ci pare insufficiente. Infatti non essendo l'attrito altro che un lavoro meccanico impiegato nell'agitazione nelle parti, che riesce passivo nelle macchine comuni, esso pure esige una potenza precedente che lo produca, quindi questa causa non può operare nelle azioni chimiche se non in quanto ha una forza preesistente; onde senza circolo vizioso non può invocarsi. Un'agitazione estrema esiste certamente nella massa al momento delle combinazioni chimiche, e questa produce attriti se vuolsi o meglio vibrazioni, ma esse devono avere origine da una potenza che imprima tali velocità, e questa sarà impossibile a trovare ove non supponiamo nelle molecole de' corpi un moto preesistente. Se le supponiamo in quiete, saremo costretti a immaginare infinite creazioni del moto dal nulla e altrettanti annientamenti, il che si è già veduto quanto sia assurdo.

Alcuni altri hanno creduto che i fenomeni del calorico svolto nelle azioni chimiche fossero inesplicabili senza ammettere almeno che nella teoria meccanica fosse mestieri far dipender tutto dai cambiamenti di capacità o di volume de' corpi. Ma dal detto finora risulta che non è punto mestieri di ammetter ciò. Certamente nell'atto della combinazione de' corpi cambia qualche cosa, perchè altrimenti le combinazioni sarebbero meri miscugli: anche l' antica teoria che ammette le forze, concede dei cambiamenti dovuti a riunioni che prima non esistevano, ma in che con

sistano tali cambiamenti finora non possiamo assegnarlo, perchè non conosciamo l'intima costituzione de' corpi. Se alla costituzione di questi concorre la presenza di un fluido di cui si formi un vortice attorno a ciascuna molecola, ben si comprende che la loro riunione portando uno scompiglio nelle antiche atmosfere e un altro assestamento nelle nuove, deve prodursi in tutta la massa grande agitazione. Ad ogni modo sarebbe prematura ogni teoria prima di aver studiato i fenomeni dell'elettricità e della luce che hanno tanta influenza nelle azioni chimiche e da cui trarremo grande vantaggio.

Qui solo vogliamo notare una cosa, ed è la legge di discontinuità evidente che regna in queste operazioni della natura, perchè i cambiamenti di stato si fanno generalmente non per gradi insensibili, ma con un certo salto definito come vedemmo a suo luogo, e così pure cambiano collo stato bruscamente le capacità, e altrettanto avviene nelle chimiche azioni. Di questo salto devesi investigare la ragione (1). Il salto del passaggio da stato aereo a liquido lo deducemmo dalla limitazione de' moti traslatorii; quello da liquido a solido in parte dal limite in cui gli assi di rotazione de' corpi prendono una direzione determinata e in parte dal mutamento di momento d'inerzia delle parti. Quello delle azioni chimiche, proviene certamente in parte dallo stesso principio, per gruppi moleculari più piccoli e di diversa massa, ma però sembra richiedersi qualche cosa di più. Quelli che ammettono le forze astratte, spiegheranno tutte queste cose con gran facilità, dicendo che ciò dipende dal valore e dall'intensità delle varie forze elettive, ma se si

(1) *Natura non facit saltum*, è antico assioma, ma il senso di esso fu bene svolto dal Boscowich nell'opera *Philosophiae naturalis theoria* n.° 141 e seg.: è evidente che tali salti non appartengono ai singoli elementi che possono mutare condizioni per legge di continuità, ma ai loro complessi.

vuole dare una ragione fisica de' fenomeni, non credo che basti quanto si è finora esposto.

Ritorneremo su questo punto quando avremo meglio esaminata l'indole della materia. Qui ci basti di avere riconosciuta la legge di azione definita in ciò che riguarda i suoi effetti dinamici o calorifici, e di avere accennato l'origine dello svolgimento del calore nella teoria meccanica. Resterà poi sempre a investigare qual sia tal causa determinatrice della riunione degli atomi, sul che il detto finora non è ancora capace a darci alcun lume. Per ora siamo costretti ad usare i vocaboli di forze di affinità, e di forze elettive o attrattive ecc. termini che a dir vero non altro esprimono che delle qualità occulte de' corpi, onde malgrado la guerra dichiarata a questi enti di ragione, pure essi continuano a traforarsi per ogni dove nella scienza. Anzi sono parole che non fanno altro che mascherare la nostra ignoranza e che, per dirlo chiaramente una volta, = *non sono che la ripetizione del fatto in altri termini di convenzione* =. È impossibile lo sbarazzarci da questi enimmi, se prima non esaminiamo meglio la costituzione della materia, e soprattutto se non si definisce il punto fondamentale, quale è quello di sapere se oltre la materia che ci è dato ponderare e toccare, esista o no un altro mezzo che contribuir possa alle operazioni della materia pesante medesima. A questa importante questione consacreremo il capo seguente.

§. 15.

Riassunto di questo capo e conclusione generale.

La copiosa esposizione dei fatti raccolti finora, e che abbiam procurato di svolgere con metodo piuttosto analitico che sintetico, anche a costo di ritornar più volte sullo stesso punto, ci dà un fondamento sufficiente a definire la

natura dell'agente fisico che produce in noi la sensazione del calore, traendola non da un concetto *a priori*, ma dai semplici fatti. La conclusione che discende spontanea è, CHE IL CALORICO È UN MODO DI MOVIMENTO DELLA MATERIA; e come il calorico esiste in tutti i corpi, così tutte le loro molecole sono animate da movimento, e questo è il principio fondamentale dell' attività che nella materia costituisce ciò che diciamo calore. Vedemmo colla scorta de' fatti più palpabili esservi una reciproca trasformazione del moto meccanico in calore e viceversa, e che i moti scomparsi come traslatorii di masse finite continuavano a sussistere come moti vibratorii degli elementi molecolari, e reciprocamente. La via di ottenere questa reciprocità è comunemente la dilatazione delle sostanze e specialmente dei gas, mediante la quale il lavoro prodotto dal movimento intestino e moleculare è utilizzato a muovere le masse finite negli organi delle nostre macchine, ma sempre in tal trasformazione si ha una equivalente perdita di calorico.

Di quale specie sia il movimento nell'interno de'corpi, essendo gli atomi invisibili è impossibile assoggettarlo ai sensi, ma il complesso de' fatti indica esser tutte le parti della materia in una continua agitazione, ora in curve chiuse ora in linee illimitate, come conviene a vera proiezione, e in genere può stabilirsi dovere esser ogni atomo o molecola animata simultaneamente da doppio moto traslatorio e rotatorio. La *temperatura* de' corpi è un fenomeno dipendente dalla intensità dell'urto molecolare, e quindi dalla loro massa e velocità, essa si misura coll'aumento di volume o separazione delle parti, cioè con un vero *lavoro* eseguito nei medesimi e quindi ha per valore la metà della forza viva che anima il sistema, come tutti gli altri lavori meccanici. Questo lavoro è doppio, interno ed esterno: col primo si aumenta il volume de' corpi e si accresce la velocità molecolare vincendo la loro inerzia, col secondo si rimuovono gli ostacoli estranei che si oppongono alla dilatazione.

Il lavoro interno pure si fa in continua opposizione coi legami che uniscono le parti de' corpi, e abbiam veduto che qualunque sia la causa e la natura loro, gli effetti prodotti dal calore si trovano sempre in ragione del lavoro che deve farsi per superarli e quindi del movimento che si trasmette al corpo valutato per la sua forza viva.

Il calorico considerato come movimento dà completa ragione di tutti i vari stati de' corpi e de' fenomeni che accompagnano i loro cambiamenti, nè abbiamo avuto bisogno di riconoscere negli *assorbimenti* di calore che in tali circostanze si verificano altra cosa, fuorchè una trasformazione di moto impiegato dove ad allontanare le molecole vincolate, dove a dotarle di forza di proiezione in orbite più o meno limitate: per contrario questa energia di movimento ricompariva nelle mutazioni inverse del cambiamento degli stati medesimi per opposte ragioni.

Investigando le leggi con cui succede lo scambio del calorico tra le varie sostanze, si è veduto che un legame sorprendente esiste tra le quantità richieste a produrre pari tensioni e le masse costituenti gli equivalenti chimici, e fummo condotti alla conclusione che gli atomi liberi e sciolti aver doveano una egual suscettibilità di movimento, e che vigeva per essi la gran legge meccanica dello scambio del moto, cioè la reciprocità della massa colla velocità. Con ciò vedemmo confermarsi la nozione emessa intorno alla espansibilità de' corpi gassosi e ci si mostrò come la teoria meccanica fosse collegata colle proprietà fisiche de' corpi. Di qui un immenso campo di ricerche dischiuso a quelli che vorranno battere la via tracciata da questa teoria, in cui un gran numero di proprietà molecolari de' corpi viene ravvisata sotto un aspetto novello. Le varie lacune che abbiamo incontrato saranno presto come speriamo riempite dallo zelo degli esperimentatori e il rilevar queste è appunto uno de' frutti che si possono cogliere dal presente lavoro.

Fin qui tutto era indipendente dalla origine del calorico che potevasi concepire come meramente derivante da mezzi meccanici. Ma questo agente ben sovente deriva da un altra causa, cioè dalle chimiche combinazioni, e lo studio della correlazione delle forze ci portava necessariamente ad esaminare qual rapporto vi fosse tra le temperature e la forza chimica che le produceva. Anche qui abbiamo riconosciuto due leggi importanti, cioè un'*azione definita* onde la stessa quantità di azione chimica produce sempre egual calorico, e una stretta relazione tra gli equivalenti nei vari ordini di combinazione colla quantità di calorico prodotta. Benchè imperfettamente conosciute queste leggi, pure ci mostrano che anche le azioni chimiche sono soggette ad una legge meccanica, che potrebbe ben discendere dal solo principio di riunione di masse diverse dotate però di egual quantità di moto che, per manco di elasticità nel loro urto, nell'unirsi danno origine ad una quantità di forza viva disponibile.

Quindi si conclude che per ispiegare i fenomeni tutti del calorico basta l'inerzia e l'impulsione meccanica. Le forze elastiche medesime benchè da noi non rigettate completamente come secondarie, si sono riconosciute inutili come primitive, potendo in lor vece operare egualmente le semplici rotazioni degli atomi. Così crediamo aver adempito al quesito propostoci (pag. 14), cioè di mostrar *che i fenomeni del calorico sono riducibili a mero scambio di moto*, e *che non è necessario ricorrere ad altro principio per ispiegarli.*

E questa teoria rimane vera indipendentemente da qualunque concetto sulla natura delle aggregazioni moleculari che sempre operano in antagonismo col calorico, e che finora possono supporsi provenire da due ipotesi diverse, cioè o da forze *sui generis* di cui siano dotati gli atomi, ovvero dall'azione estrinseca di un mezzo. La prima teoria è più commoda perchè non s'incarica di spiegar nulla, ma ammette come un fatto quelle forze che occorrono in cia-

scun caso. La seconda cerca di dedurle dalle leggi fisiche del moto. Qualunque delle due ipotesi si abbracci, la teoria meccanica del calorico è sempre vera perchè si fonda solo sullo scambio del moto. Molto più poi questa teoria è indipendente da idee metafisiche di ordine superiore con cui voglia concepirsi il fatto primitivo della comunicazione del moto, cui altri può guardare attraverso quel prisma di idee teoriche che più gli talenta. Che se taluno credesse che i placiti di certe scuole venissero scalzati da tale teoria, noi non ci daremo la pena di puntellarli e ne lascieremo l'uffizio ai loro difensori.

Qui soltanto ci sia permesso di fare una riflessione. Quando si considera quale immensa copia di fatti siasi dovuta adunare e preparare per arrivare a concludere quel poco che si è detto finora, non potrassi a meno di non ammirare (per non dir altro) la franchezza di quelli che cercano decidere le questioni di fisica colle teorie *a priori*, e insieme ciò deve incoraggire i fisici nel laborioso arringo in cui si sono messi del tentativo lento e penoso dell' esperimento. Ma i frutti che se ne sono colti e i maggiori che si sperano, devono incoraggirli a proseguire, e lasciate da parte le speculazioni attendere alle ricerche sperimentali, e occuparsi delle prime solo in quanto è mestieri per vedere di scoprire le lacune esistenti nei lavori fatti dei loro antecessori.

Che se si voglia spingere più avanti la speculazione sulla relazione del calorico colle altre forze della materia, ci troviamo arrestati da non lievi difficoltà su diversi punti, per l'ignoranza in cui ci lascia questa teoria sulla costituzione de'corpi. Così noi più volte abbiam sentito il bisogno di sapere in che consistano queste forze antagoniste che costituiscono il legame de' corpi onde comprendere appieno il modo di agire del calorico stesso. Tali nebbie non possono dileguarsi senza studiare le altre forze fisiche, e per prima cosa è indispensabile conoscere se vi sia o no un mezzo che operi dapertutto, e in cui siano

immersi tutti i corpi, e come esso concorra ai fenomeni che ci presenta la natura.

La soluzione di questa questione dipende dallo studio della luce e dell'elettricità. Da esso la teoria meccanica del calore riceverà un nuovo appoggio assai più valido di quello che ricevette dal semplice studio dell'equivalente meccanico. Poichè mentre con questo siamo assicurati esser esso una trasformazione di movimento, non ci viene però mostrato il modo con cui essa succede. Anzi potrebbe obiettarsi che come il danaro con cui si stipendia un operaio, e il tempo che esso lavora, benchè abbiano un equivalente o coefficiente costante, pure non permettono di dire il tempo esser danaro; così il calorico non dovrebbe esser riguardato semplicemente come moto malgrado l'equivalente suddetto, quando fosse mancata la nozione chiara del modo con cui accade il fatto fisico della trasformazione dei vari generi di movimento.

La scoperta dell'equivalente meccanico del calore è un dato sperimentale che ha dimostrato empiricamente la permanenza del moto e della energia o come dicono la sua indistruttibilità, a quella guisa che le sperienze di Lavoisier dimostrarono sperimentalmente l'indestruttibilità della materia. Così si è fornita all'analisi matematica una base certa da cui partire e su cui fondare le formole. Mediante lo svolgimento di queste si è arrivato a conclusioni più pratiche, le quali hanno dimostrato vero il principio in que' fatti ne' quali non poteva direttamente provarsi vero coll'esperienza, e tale è il sommo e reale vantaggio della geometria. Questi lavori teorici formano uno de' più bei monumenti della scienza fisico-matematica de' nostri giorni, e gareggiano in importanza con quelli della meccanica celeste, dell'ottica e dell'elettrodinamica, ma non è del nostro scopo entrare in essi.

Nulla è più ovvio pel volgo che di credere svanite le forze della natura mentre non fanno che trasformare

l'azione: così quando un corpo si immerge in un vaso d'acqua e perde tanto del suo peso quanto è il volume dell'acqua discacciata, sembra che la gravità abbia perduto i suoi diritti, ma sarebbe un errore, perchè se quel corpo pesa tanto di meno sul braccio che lo sostiene, il vaso dell'acqua in cui è immerso acquista appunto altrettanto peso di più, come può facilmente provarsi coll'esperienza. Così nel barometro se il mercurio sospeso nel tubo non gravita nel fondo della vaschetta, esso però carica di peso uguale il sostegno a cui è attaccato il tubo, come lo prova il barometro a bilancia. Onde le forze della natura benchè talora per gl'imperiti sembrino perdere le loro efficacie, essi non fanno che trasformarsi, e sta alla scienza indicare come ciò convenga.

Per ciò che spetta il calorico noi dobbiamo tale vantaggio alla LUCE che illuminò le menti dei filosofi a comprenderne il modo, non meno di quel che faccia gli occhi corporei per conoscere i fatti; di questa adunque ora passiamo a trattare.

CAPO SECONDO

DELLA LUCE.

§. 1.

Fenomeni fondamentali delle radiazioni e loro distinzione.

La luce considerata per tanto tempo come un agente destinato meramente a metter gli enti animati in communicazione col resto della creazione esteriore per l'organo della visione, è al presente riconosciuta come una delle forze più attive della natura. Per lo più mista al calore, ed ora creduta identica con esso, ora da esso distinta, si è finalmente arrivato a riconoscere qual sia in essa l'effetto termico e quale l'illuminante. Tre secoli corsero dal tempo in cui G. B. Porta produsse colle lenti le imagini eteree della camera oscura, a quello in cui Daguerre riuscì a fissarle su piastre d'argento; e questa imponente scoperta feconda di immensi risultati provò quanta fosse e quanto generale l'azione di questo agente, che i botanici appena da un secolo aveano trovato influire sulla vegetazione. Così le radiazioni emanate dall'astro centrale del nostro sistema si riconobbero un principio di forza messo a disposizione dell'uomo mediante l'azione che esse esercitano sulla materia.

Infatti se le nostre navi solcano gli oceani spinte dalla forza dei venti, questa viene dalla radiazione solare che mantiene in moto la nostra atmosfera: se i corsi d'acqua muovono i nostri opificii e nutrono la vita vegetale con benefica irrigazione, si deve alla radiazione solare che per evaporazione solleva le acque dal mare: se il fuoco ci rende onnipotenti colle nostre macchine caloriche, ciò pure dipende

dalla radiazione solare che elaborando il carbonio nelle piante le trasforma in depositi di forza. Anche il mezzo più efficace di cui si valse gran tempo la scienza per disgregare e scomporre i corpi più refrattari, fu la concentrazione delle radiazioni solari nel foco delle lenti e degli specchi. L'importanza dello studio delle radiazioni cresce immensamente considerato in relazione colle altre forze della natura, e il principio da cui dipendono ci si mostra ogni dì più influente nel meccanismo della creazione, e si tende sempre più a confermare quell' azione che vagamente fu intravveduta da Keplero, quando al principio della luce attribuì tutti i fenomeni dell'Universo. Per noi in particolare farà l'ufficio di strumento col quale cercheremo scoprire l'interna costituzione de' corpi ed è principalmente sotto questo aspetto che al presente dovremo esaminarla.

Noi non intendiamo di fare una completa trattazione sulla luce, ma solo toccheremo quel tanto de' fatti che ci saranno indispensabili a riconoscere la sua natura, e a metterci in grado di progredire nella soluzione di quelle questioni che lasciammo insolute nel capo precedente.

La tre forme di radiazione luminosa, calorifica e chimica son rese evidenti nell'esperimento della decomposizione della luce solare pel prisma, o *dispersione*. Lo spettro che ne nasce colpisce l' occhio pei suoi vivaci colori, riscalda un termoscopio, e annerisce la carta clorurata d' argento. Ma non in tutte le regioni dello spettro tali azioni sono egualmente intense. La luminosa è più vivace nel giallo, la calorifica è più energica nella parte oscura sopra il rosso, la chimica nel violetto e in buon tratto della parte oscura che vi segue appresso. Questo fatto ci fa già immediatamente conoscere che l'occhio non è capace di giudicare della presenza di tutte le radiazioni, e che molte sfuggono alla sua sensibilità ad ambedue gli estremi dello spettro. Queste radiazioni in varia proporzione sono pro-

prie anche dei corpi terrestri secondo il loro grado di temperatura, e cominciando da quelle di calore oscuro grado grado diventano luminose, cioè arrivano a scuotere la retina quando la temperatura è di 600° circa, e riescono tanto più efficaci nella operazione chimica quanto più intensa è la temperatura stessa e la forza luminosa, talchè le più attive sono le luci d'origine elettrica ove pure si eccita più energica la temperatura. L'Autore della natura inesauribile nella varietà delle sue opere, ha fornito certi animalucci del potere di emetter luci deboli che sembrano prive di calore, ma vedremo che esse non fanno eccezione alla legge generale se non per la maniera misteriosa onde sono destate.

Newton ripetendo l'antico esperimento del vetro a tre facce (1) riconobbe l'indecomponibilità de' *singoli* raggi usciti da esso, ma era riserbato a Fraunhofer dimostrare la discontinuità della luce solare nelle diverse tinte refratte mediante le strie oscure da esso scoperte, le quali anatomizzate coi moderni colossali strumenti forniti di molti prismi si è trovato esser quelle lacune tanto numerose quanto le stelle del firmamento. Queste ricerche hanno anche dimostrato essere assai scarsi in proporzione della solare i raggi lucidi che si propagano dalle nostre più attive sorgenti in combustione. Simili discontinuità furono trovate pure nelle stelle, e in genere dovunque l'elevatezza di temperatura dà luogo non ad una mera incandescenza, ma ad una vera chimica combinazione. Le stesse discontinuità sono comprovate pure pei raggi chimici, onde non sono mero effetto ottico, e se ne' calorifici esse finora non si poterono dimostrare, dipende ciò, o dalla imperfezione de' no-

(1) Newton non fu il primo a fare questo esperimento come alcuni dicono: Grimaldi prima di lui alcuni anni lo chiamava *satis tritum*: a Newton però appartiene la grande scoperta della indecomponibilità de' raggi quando passano per un secondo prisma.

stri termoscôpi o dalla singolare proprietà che hanno i corpi di bassa temperatura e meramente incandescenti di dare radiazioni di tutte le specie.

La distribuzione delle radiazioni nello spettro prismatico è grandemente alterata da due cagioni, una è l'ineguale azione dispergente del cristallo pei raggi di diversa refrangibilità, l'altra l'azione assorbente del mezzo di cui è formato il prisma stesso. La prima causa fa che i raggi dal lato del rosso siano enormemente condensati, mentre sono estremamente dilatati nel violetto, e quindi la parte chiara sensibile all'occhio non rimane nel mezzo. Una distribuzione normale di questi colori, per ragioni che qui non possiamo sviluppare, si ha negli spettri generati per diffrazione dai reticoli. In questi il color più brillante è nel mezzo, e di quà e di là ha lo spettro eguale estensione, e lo spettro di refrazione come dimostrò il Mossotti non è altro che quello di diffrazione distorto per l'azione del prisma (1).

I limiti a cui si estendono gli estremi dello spettro molto dipendono dalla natura del prisma che è più o meno assorbente per le diverse radiazioni. Un prisma di vetro comune dà il massimo calore nel rosso, uno d'acqua nel giallo, uno di flint al di là del rosso, e uno di sal gemma buon tratto oltre il rosso nello spazio oscuro che lo precede. Tali divergenze furono un mistero finchè Melloni ebbe dimostrato che le varie sostanze benchè limpide per le radiazioni luminose, pure esercitano assorbimenti diversi sulle radiazioni calorifiche oscure, e fanno l'effetto de' mezzi colorati sulla luce. Onde a quella guisa che con un prisma o rosso o verde si avrebbe l'intensità massima del lume in posti diversi dello spettro, così avviene per i raggi calorifici, pei quali la sola sostanza incolore o *atermocroica*

(1) Mossotti *Sulle proprietà degli spettri di Fraunhofer formati dai reticoli*. Pisa 1845.

è il salgemma. Un esame più minuto dello spettro fatto dallo stesso fisico gli provò che il massimo dell'intensità calorifica con un prisma di tal sostanza è sempre dal lato del rosso e al punto da esso più distante: pel calor solare tal massimo cade nello spazio oscuro totalmente staccato dai colori ad una distanza presso a poco eguale a quella che corre in opposta direzione tra il rosso e il giallo (1). Per il che, avuto riguardo alla condensazione de' raggi da questa parte dello spettro, questo limite rimane lontano dal giallo almeno quanto il raggio chimico estremo è dall'altra parte. Se i valori delle intensità dati da esso per i diversi raggi si dispongano a modo di ordinate sullo spettro ordinario, trovasi che le sommità delle linee formano una curva, ma se dispongansi sullo spettro normale de' reticoli formano semplicemente una retta inclinata, che partendo dallo spazio oscuro suddetto và decrescendo fino al violetto, donde si deduce che la forza calorifica scema uniformemente da un capo all'altro dello spettro. Siccome tra i corpi assorbenti vi sono i gas che compongono l'atmosfera solare e la terrestre, e in questa specialmente il vapor d'acqua è assai assorbente, ne segue che i raggi solari pervengono a noi spogliati di tutti gli elementi che appartengono ai corpi di bassa temperatura, onde la serie delle radiazioni oscure cresce assai se vi si comprendono quelli, e l'esperienza mostrò nei raggi emessi dall' acqua bollente una refrangibilità notabilmente minore di quella de' solari oscuri.

Anche pei raggi chimici la loro copia ed estensione, e il punto di massima azione varia colla natura del prisma, e di più colla sostanza su cui si ricevono. La massima estensione si ottiene con prismi di quarzo, e su le carte fotogeniche può aversene l'impressione tanto prolungata al di là dell' estremo violaceo, quanta è dall' altra parte la lunghezza intera dello spettro visibile (2). Questi raggi

(1) Melloni *Mem. cit.*

(2) V. Bunsen e Roscoe *Philos. trans.* 1859 Part. II.

non sono ordinariamente visibili all'occhio, ma lo divengono se ricevasi lo spettro sulla carta bagnata con solfato di chinina sciolto coll'acido solforico, o con una infusione di marrone d'India (*aesculus hippocastanum*) o sul vetro d'uranio. Questi fatti mostrano la diversa suscettibilità della materia a rispondere alle varie radiazioni, e sono analoghi a quelli che ottengonsi nei colori, per cui un drappo di color puro brilla sotto lo spettro nel suo omologo ed è poco o nulla visibile nell'opposto (1).

Da tutto questo risulta manifestamente che la distinzione fatta finora delle radiazioni è stata piuttosto desunta dalla suscettibilità delle sostanze su cui esse agiscono, che non dalla loro vera natura; che uno è il principio di tutte, ma che si manifesta in modo illuminante se sia omologo alla nostra retina, in modo chimico se trovi sostanza che si decomponga, ma in genere che tutte hanno azione riscaldante; e se pure si credette di aver trovato qualche luce priva di calore, ciò non fu che inganno nato dalla poca sensibilità de' nostri strumenti, ma luce e calore sono inseparabili, e la luce non consiste « che *in certa serie di radiazioni calorifiche sensibili all'organo della vista*, o viceversa che *le radiazioni di calore oscuro (o di azione chi-*

(1) Che il calor solare abbia qualche azione diversa da quello delle sorgenti calorifiche ordinarie, lo sentono anche i meno iniziati nella fisica. Io vedendo un giorno soffrire al calor del sole in campagna un meccanico inglese avvezzo a stare a temperature ben più alte nella macchina a vapore delle navi, ne faceva meraviglia, ma esso mi rispose nettamente – *it is a quite different heat* – « è un calore affatto diverso »: e la diversità esiste realmente come sappiamo nell'esser questo accompagnato dall'azione chimica sì energica sugli animali da alterarne perfino il color della pelle; e le luci artificiali, come l'elettrica, sono in proporzione similmente efficaci per la stessa copia de' raggi chimici. Tal sensazione incommoda di questo raggio potrebbe paragonarsi a quella de' suoni acutissimi che recano tanta noia.

mica) sono radiazioni invisibili di luce (1) ». Il che per le chimiche è così vero che furono fotografati disegni invisibili mediante l'azione unicamente di queste radiazioni.

Quindi è manifesto che scoperta la natura di uno qualunque degli elementi che formano lo spettro, sarà conosciuta quella di tutti gli altri, e perciò sovente usando la parola *luce* intenderemo tutte e tre queste azioni e tutto il complesso delle radiazioni. La parte che produce la sensazione luminosa fu la più studiata per la facilità con cui l'organo visivo si presta a rilevare le sue modificazioni, e da essa si dedusse la natura delle altre, ma è evidente che tale studio poteva farsi su tutte le altre parti da persone fornite di occhi che fossero stati sensibili ad altri raggi dello spettro diversi da quelli a cui sono eccitabili i nostri.

Tale scoperta ridusse l'azione ottica delle radiazioni che fino allora era stata la principale ad esser molto secondaria. Infatti le radiazioni non solo esisterebbero senza che vi fossero occhi che le percepissero, ma continuerebbero ad avere una immensa influenza in tutti i fenomeni della natura, collo scaldare e promuovere azioni chimiche. Il fenomeno della visione per la luce è certamente ammirabile, in quanto che l'Autore della natura si è servito di questo principio per mettere le creature animate in comunicazione colla creazione esterna, mediante il semplice arartifizio dell'immagine dipinta al fondo dell'occhio; ma malgrado la somma importanza che ha per noi tal fatto, perchè da esso dipende la massima parte del nostro ben essere, il fisico non può guardare l'azione illuminante delle radiazioni che come fenomeno secondario, e meramente subordinato ad un altra legge ben più generale. Appunto come la percezione auricolare de' suoni è fenomeno affatto subordinato alla legge generale dei moti vibratorii che po-

(1) Melloni loc. cit. in fine.

trebbero sussistere e far saltellare l'arena sulle piastre e far oscillare le corde, anche senza il senso del nostro udito. L'impressione più o meno luminosa di una radiazione nel fondo dell'occhio nulla ha che fare cogli altri effetti fisici e può essere che altri animali abbiano diversa scala luminosa per le loro sensazioni. Ciò è provato dal fatto notissimo del *Daltonismo* per cui certi individui sono incapaci di percepire alcuni colori, o se li vedono li confondono uno coll'altro, e il rosso è confuso col verde. Or bene, avverte il Melloni, se la visibilità di certi raggi fosse una proprietà dipendente più da essi che dall'occhio, dovrebbe ammettersi che lo stesso raggio fosse allo stesso tempo visibile e invisibile, il che è assurdo.

Di qui apparisce quanto sia pericoloso il giudicare dell'indole degli agenti fisici prendendo a base solo le nostre sensazioni, del che la storia dell'Ottica fornisce a dovizia istruttive lezioni. Quante opinioni non furono emesse per ispiegare la visione! Chi volle che la forza visiva fosse una potenza emanata dall' occhio e che i raggi partissero da esso in linea retta e andassero a toccare gli oggetti, chi giudicò farsi per imaginette diffuse dagli oggetti, chi farsi in istanti, chi successivamente, chi in una, chi nell'altra parte dell'occhio. Tutte queste incertezze svanirono quando fu concepito il meccanismo dell' occhio e quando Scheiner fece vedere l'imagine degli oggetti esterni dipinta in fondo a quello degli animali come in una camera oscura. Restò è vero ai psicologi non piccolo problema da sciogliere nel capire come la sensazione operata all' interno venisse riferita all'esterno, e sorse il problema se la semplice vista senza l'educazione del tatto fosse sufficiente a darci esatta nozione degli oggetti esterni (1). Ma mal-

(1) Leggesi nelle *Trans. filos.* 1841. P. I. che un cieco *a nativitate* per cateratte, educato già a distinguere i solidi geometrici col tatto, non seppe riconoscere e distinguere il cubo dalla sfera quando gli

grado queste difficoltà d'ordine metafisico, fu eliminata per sempre una forza speciale che producesse la visione, e fu ridotto il problema a un ordine di fatti ovvii e manifesti, e qualunque teoria si adottasse sulla natura della luce il fatto della visione potea dirsi spiegato senza ammettere forza veruna di genere nuovo.

Ora che l'influenza della luce è riconosciuta tanto più vasta, cresce assai più l'importanza di riconoscerne la sua natura, onde passiamo ad investigarla.

§. 2.

Delle varie teorie della luce: sistema dell'emissione.

Che la luce sia un movimento di qualche sostanza non può oggidì esser più controverso in nessuna scuola: la questione è ridotta solamente a sapere se sia movimento di traslazione di particelle che emesse dal corpo luminoso viaggiano in linea retta con sorprendente celerità, e che arrivate all'occhio destano la sensazione del lume; ovvero se sia un movimento di oscillazione di un mezzo diffuso per tutto, che chiamarono etere, capace ancor esso colle sue pulsazioni di fare nell' occhio il medesimo effetto. La prima sentenza fu sostenuta da Newton, l'altra da Ugenio, ed è comune oggidì.

Grimaldi fu il primo che disse chiaramente dover la luce consistere in un fluido in moto nei mezzi diafani e che almeno talora si propagava per modo di onda. All'appoggio della quale opinione egli recò in mezzo oltre altre ragioni i suoi esperimenti delle frange di diffrazione (1),

furono posti innanzi la prima volta dopo levate le cateratte, e restò sorpreso egli stesso della sua incapacità quando le ebbe toccate.

(1) L'opera di Grimaldi è conosciuta solo per le sue due prime proposizioni, ove sono le sue celebri sperienze, ma racchiude una infinità di idee fisiche quanto giuste tanto allora non intese

e la famosa scoperta che luce aggiunta a luce genera oscurità, il che suppone la luce propagarsi per onde, nel qual modo soltanto poteva spiegarsi questo fatto e quelle frange. Egli invocò perciò la similitudine del fatto che vedesi tuttodì accadere nelle onde dell' acqua quando si sovrappongono, dai cui opposti movimenti risulta quiete.

Gli esperimenti di Grimaldi sono così fondamentali e semplici nella loro originalità, e possono sì facilmente ripetersi da tutti, che dobbiamo brevemente richiamarli. Se si faccia entrare in una camera oscurata un tenuissimo raggio di sole per un forellino fatto in una laminetta metallica con uno spillo, avrassi un cono luminoso assai più divergente che non richiede la direzione geometrica de' raggi; e tal divergenza diverrà più sensibile se sul tragitto si metta appresso e a certa distanza dalla prima un'altra laminetta bucata con un simile forellino, giacchè i lati del secondo cono non saranno punto paralleli a quelli del primo, ma più divergenti. Onde si conclude che il raggio luminoso radendo gli orli di questi fori non cammina in linea retta.

Se mettasi nel cono luminoso fatto dal detto foro un filo sottile e ricevasi la sua ombra su di una carta bianca a distanza, l'esterno dell'ombra trovasi listato da tre frange colorate decrescenti in larghezza colla distanza dal lembo, e nell' interno dell' ombra vedesi una o più righe lucide. Grazioso esperimento è quello che fassi con un ago da cucire introdotto in questo raggio: la cruna vedesi gettar

nelle scuole, onde in una seconda parte (se pure essa è del Grimaldi) egli ne fa la confutazione. Ivi troviamo stabilita la porosità generale della materia, e invocata a provare l'esistenza di un mezzo universale l'azione del magnetismo. La refrazione prismatica e il corso del raggio decomposto nelle gocce d'acqua sono analizzate con sorprendente precisione. L' opera fu pubblicata molti anni prima dell'ottica di Newton, ed esso ne profittò nelle sue mirabili scoperte. Grimaldi *De lumine, coloribus et iride.* Opus posthumum. Bononiae 1665. Prop. 1, 2 e 43.

ombra scura nel centro del foro e lucida ai lati, mentre la punta appare raddoppiata. Tutti i corpi opachi messi in questo cono gettano ombre guernite di queste frange all'esterno, e hanno una luce diffusa rapidamente decrescente all'interno. Dal che si trae aver sempre luogo una inflessione o come si disse una *diffrazione* del raggio luminoso nelle vicinanze degli orli de' corpi con piegamento nel loro interno.

Se il detto cono luminoso si intercetti con una laminetta che abbia un tenuissimo forellino, e si esamini il contorno del cono trasmesso ricevendolo a sufficiente distanza su di una carta bianca, si vedrà che il circolo bianco è circondato da un anello oscuro, e quindi da un altro anello bianco e poi da un altro pure oscuro a cui succede un altro debolissimo bianco: si vedrà ancora che la vivacità del primo anello lucido è sensibilmente maggiore che quella del bianco dell'area centrale. Se ora accanto al primo foro nella lamina intermedia se ne apra un secondo distante di uno a due millimetri, e si prendano le imagini a tal distanza che gli anelli lucidi che circondano i due circoli si sovrappongano, si vedrà che essi nel segmento lenticolare in cui si compenetrano sono decisamente più oscuri che dove sono separati, donde ne segue che la luce del primo anello aggiunta a quella del secondo produce oscurità (1).

Gli esperimenti delle frange furono accolti con favore da Newton, ma è singolare che non ne fosse profittato da Ugenio il quale vi poteva vedere la prova più decisa del suo sistema. Ma il primo invece di riconoscervi fenomeni derivati da una pulsazione, come pure dichiara nelle prime *questioni* dell'ottica poter essere il caso, ne propose la

(1) La distanza dal primo foro della finestra alla seconda lamina può essere di circa 2 metri e altrettanto circa quella della lamina 2ª alla carta bianca, per fori minori di un millimetro e distanti circa 2.mm; ma è facile tentando varie distanze trovare la più opportuna.

spiegazione per via di forze astratte risedenti all'orlo de'corpi e operanti a distanza.

La teoria Newtoniana come più facile ad esser intesa ebbe molti seguaci, anche pel prestigio del nome di chi la proponeva, ma esaminata in fondo essa non è così semplice come credesi a prima vista; la qual cosa sembrano aver dimenticato parecchi che oggidì tentano di rinnovare questo sistema, onde credo che non sarà inutile l'esaminarla un poco addentro. Il quale esame, istituito comparativamente col sistema delle onde facendoci vedere come le tante forze ideate da Newton per ispiegare questi fenomeni si risolvano realmente in tante mere affezioni del movimento ondulatorio, riuscirà di grande istruzione a comprender dei casi simili in altri rami della materia che trattiamo. Talchè ciò non facciamo per esercitare una critica oggidì intempestiva, ma per far vedere che mentre nello studio della natura al principio si immaginano *forze* speciali per ogni fatto particolare, queste svaniscono subito che si è conosciuta la vera indole del fenomeno, e si risolvono in semplicissime leggi di moto meccanico.

Primieramente per spiegare la propagazione della luce devesi ammettere tutto lo spazio pieno di infiniti corpuscoli lanciati dai corpi con velocità di 70000 leghe per secondo, e quel che è più singolare tal forza di proiezione deve essere identica per la luce de' corpi più violentemente incandescenti come gli astri, e dei più debolmente luminosi come le lucciole. Un tal presupposto sembra inammissibile, perchè la violenza dell' urto d' impulsione deve essere in proporzione della agitazione in cui sono i corpi, che non può supporsi eguale in tutti. Questo incommodo cessa nella teoria delle ondulazioni, perchè in questa la propagazione si fa come nel suono per l'aria, in cui la velocità di propagazione dipendendo unicamente dalla elasticità del mezzo, nulla ha che fare colla intensità della vibrazione la quale deriva da una escursione più o meno grande della

molecola vibrante e quindi delle particelle del mezzo circostante. Perciò le luci deboli e le forti si devono propagare con eguale velocità, come si propagano con pari velocità i suoni forti e i deboli, gli acuti e i gravi.

Per dar ragione della riflessione dovette Newton ammettere certe forze repulsive emananti dalle singole molecole delle superficie de' corpi che ricacciassero indietro le molecole luminose innanzi che fossero giunte al vero contatto dei medesimi, e facessero l'ufficio di eguagliare le loro scabrezze, le quali rapporto alle molecole luminose sono maggiori che le nostre montagne rapporto alle palle da bigliardo. Vide cioè l'acuto filosofo che era impossibile una riflessione regolare per puri mezzi meccanici e ricorse a delle forze ripulsive di cui era impossibile assegnare la natura. Queste forze repulsive sono ben diverse da quelle che nel capo precedente indicammo con tal nome, e che realmente non sono che l'estrema agitazione in cui trovansi le molecole della superficie; ma queste nulla avrebbero giovato alla riflessione, salvo che a renderla più irregolare. — Di tali forze non occorre far uso nel sistema ondulatorio perchè riflettendosi la luce come il suono, le onde eteree sono abbastanza lunghe per poter esser riflesse regolarmente malgrado le scabrezze de'corpi specolari: così trovasi che la lunghezza dell'onda gialla è 5 in 6 volte più grande che la spessezza di una foglia d'oro battuto, il che basta certamente a dimostrarla superiore alle scabrezze delle superficie pulite, e Faraday con certi mezzi chimici ottenne delle foglie d'oro che erano un 50mo della detta lunghezza dell'onda (1).

Ma uno scoglio principale fu trovato dalla teoria Newtoniana nella rifrazione. Per ispiegarla si ammise che nell'interno de' corpi la luce era attratta con forza prodigiosa, la cui intensità si trovò mille bilioni più forte di quella della

(1) Faraday *Philos. trans.* 1857 P. I. pag. 145.

gravità (1). L'effetto di tale attrazione era quello di deviare il raggio dalla linea retta e piegarlo, ma insieme di aumentar la celerità di propagazione nell'interno de' corpi più rifrangenti. Il giudizio di tale teorica dipendeva quindi dalla misura della velocità della luce nei diversi mezzi. Le sperienze assai posteriori di Arago e Fresnel e le più recenti di Fizeau e Foucault hanno dimostrato esser tale velocità minore nei corpi più rifrangenti e più densi che negli altri, il che essendo opposto alla teoria di Newton questa non era più ammissibile. All' incontro la minor velocità nei mezzi più densi essendo la base della spiegazione Ugeniana della refrazione, e questa trovandosi vera coll'esperimento, ne risultava una completa dimostrazione in suo favore.

Alle forze ripulsive pure ebbe ricorso Newton per ispiegare i fenomeni della diffrazione di Grimaldi, le quali forze però qui doveano estendersi a qualche distanza dal corpo e agire con moto oscillante *ultro citroque* (2). Questo era necessario per ispiegare come le frange fossero tre e passassero lontane dal corpo con quelle loro alternative. Simili oscillazioni, sotto il titolo di *accessi* di facile riflessione e facile trasmissione, ammise per la spiegazione de' colori delle lamine sottili, i quali accessi sembra attribuire alle vibrazioni calorifiche de' corpi (p. 318).

Non può abbastanza ammirarsi l' ingegno di Newton in immaginare tante ipotesi onde spiegare questi fatti, che discendono spontanei dalla sovrapposizione delle onde luminose e dalle loro interferenze, come adesso è dimostrato. Certo qui poteva dirsi, che *si Pergama dextra Defendi possent ... hac defensa fuissent*, e quelli che pensano a far risorgere le emissioni dovrebbero almeno cercare, come fece questo gran filosofo, di soddisfare a tutte queste esigenze de' fenomeni.

(1) Newton *Optice*. Ediz. di Londra 1706 pag. 321, il numero è 1000,000000,000000.

(2) Ibid. pag. 293.

Ma più che altrove spicca la sua sagacia quando si tratta di spiegare come un raggio passato per un cristallo di spato islandico ora possa attraversare un altro cristallo simile e dividersi in due, e ora no. Egli immagina perciò che siano i raggi forniti di certi lati e le molecole luminose abbiano poli simili a quelle delli aghi magnetici, onde ora possano passare pei pori de'corpi ed ora no. È sorprendente come questa ipotesi racchiuda un germe ammesso anche nella teoria ondulatoria, ma però non potè dare ragione della biforcazione del raggio altrimenti che in termini vaghi, e invocando le proprietà congenite de' raggi, cioè delle vere qualità occulte. All'incontro Ugenio colla sua doppia onda sferica ed ellissoidica dentro al cristallo dava conto geometricamente di tutti questi fenomeni, benchè non sapesse ancora comprendere l'origine di tale doppia onda. Per questa incertezza Newton rigettava come priva di fondamento tale maniera di propagazione. Ma la soluzione di questa difficoltà eccedeva le cognizioni della meccanica di quel tempo e vedremo a suo luogo come siasi ora superata. Sembra incredibile come sì gran geometra qual era Newton, potesse non esser rapito dalla geometria così elegante di Ugenio, e invece ricorresse ad una doppia refrangibilità congenita nei raggi (1).

Newton obiettava al sistema ondulatorio singolarmente due cose: la prima il non piegarsi delle onde luminose attorno agli ostacoli, e il doversi ammettere un mezzo nello spazio che certamente, secondo lui, dovea resistere al moto de' pianeti. Ma in quanto a quest' ultima difficoltà poteva rispondersi che nella sua ipotesi quello spazio era tutt'altro che vuoto, e che infatti doveanvisi trovare infinite radiazioni diverse quanti sono gl' infiniti punti che raggiano verso un altro punto qualunque e l'illuminano.

In quanto all' altra si vede che Newton non fece attenzione al principio fondamentale di Ugenio col quale esso

(1) *Opt.* q. 17 pag. 299.

scioglieva tale difficoltà e provava non doversi piegare la luce attorno agli oggetti, del qual principio diremo fra poco; e realmente anche Ugenio asserisce che prima di aver trovato tal principio non si era potuto decidere ad abbracciare definitivamente questo sistema. Ma a sciogliere la difficoltà bastava considerare i fenomeni del suono, perchè si sà che realmente si hanno delle *ombre sonore*, e d'altronde le frange di Grimaldi mostravano un qualche piegamento.

L'ottica di Newton è un monumento certamente non perituro del suo gran genio, ma insieme era una macchina che poteva camminare solo nelle mani del suo inventore: era l'arco d'Ulisse cui esso solo sapeva piegare in ogni caso con una speciale ipotesi al bisogno dello sperimento. La moltitudine delle forze richieste per ogni fenomeno novello, tutte di natura inintelligibile ed astratta, era il lato debole di questa teoria che non resistette al cimento de'problemi più difficili che si presentarono appresso, e i suoi più caldi partigiani quando furono alla spiegazione de' fenomeni della polarizzazione e della doppia refrazione si diedero per vinti ed abbracciarono l'ipotesi ondulatoria, che sola riduce a legge semplice i fenomeni, di cui l'altra non dà che vaghe spiegazioni (1).

Lasciando quindi da parte la teoria Newtoniana ci applicheremo a svolgere l'ondulatoria, considerandola specialmente in ordine allo scopo che ci prefiggiamo nella presente trattazione, e rimettendo per la dimostrazione di molti teoremi ai trattati speciali.

---

(1) In prova di ciò basta citare il bel *Trattato sulla luce* di Herschel, che arrivato alla polarizzazione e doppia refrazione si toglie finalmente dal dubbio sulla scelta delle due teorie in favore di quella delle onde.

§. 3.

Sistema ondulatorio della luce: nozione dell'etere.

Benchè il sistema Cartesiano che ammetteva lo spazio planetario pieno di materia sottile, non facesse punto progredire la meccanica celeste per cui era immaginato, giovò però non poco a scoprire il vero sistema della luce. L'idea d'un tal mezzo qualunque, benchè male intesa in questo punto dal suo fondatore, venne però perfezionata dalla sua scuola, e Malebranche pensò che i colori invece di esser proprietà assolute de' raggi come voleva Newton, potevano esser dovuti alle diverse lunghezze di ondulazioni di questo mezzo (1). Questo sistema trovò in Ugenio un geometra che sollevò le vaghe idee de'filosofi alla verità della geometria (2).

In questa teoria come accennammo già nell' articolo precedente la propagazione della luce si fa per pulsazioni o oscillazioni di un fluido imponderabile chiamato etere, come il suono si propaga per le oscillazioni dell'aria. La lunghezza dell'onda è quella che costituisce il *colore*, come nell'aria essa costituisce il *tono* musicale; l' escursione poi delle particelle costituisce l'*intensità*, e dicesi raggio luminoso la retta condotta dal punto luminoso perpendicolarmente alla superficie dell'onda. La riflessione si spiega come nel suono, e la rifrazione dipende dalla minor velocità della luce nel mezzo più rifrangente. Le dimostrazioni geometriche di questi fatti date da Ugenio, sono ancora le più eleganti e le più semplici che si conoscano oggidì. La grande difficoltà affacciata da Newton che in tal sistema la luce non poteva conservarsi unita in raggio cilindrico come si vede

(1) Priestley *History of vision, light and colours*. London 1772. pag. 240.

(2) C. Hugenii *Opera*. Amsterd. 1728 Vol. I. specialmente pag. 14.

comunemente, ma dovea diffondersi per tutti i versi, fu sciolta in modo ammirabile da Ugenio stabilendo un teorema che meritamente dicesi principio fondamentale in questa materia.

Stabilisce esso che ogniqualvolta un punto unico vibrante genera un onda in un mezzo omogeneo, questa si propaga in superficie sferica tutta attorno a quel punto: però in pratica un'onda sola è incapace di darci la sensazione del lume la quale si ha sempre da molti punti oscillanti insieme, i cui movimenti sovrapposti sono quelli che generano sensazione luminosa sufficientemente forte. La direzione del raggio dipende appunto dalla risultante di tutti questi movimenti, e la maniera di determinarla è la seguente. Ciascun punto dell'onda precedente deve considerarsi come un centro di scotimento da cui parte un onda sferica, e la direzione del raggio sarà la normale alla superficie tangente tutte le sfere. Ora siccome ognuna di queste sfere ha centro fuori delle altre, così le superficie partite dai diversi centri a certa distanza presto si separano, e non hanno piano tangente comune salvo che nella direzione parallela alla superficie ove risiedono gli scotimenti, e questo spazio o inviluppo essendo limitato lateralmente, anche la sezione normale al raggio è limitata e perciò la luce non è lateralmente diffusa. Fuori di questa direzione le onde sussistono bensì, ma 1° esse sono troppo dilatate ed isolate e perciò troppo deboli e incapaci di fare impressione sulla retina; 2° esse si distruggono reciprocamente, perchè la parte di moto p. es. positivo dell'una si sovrappone alla negativa dell'altra contigua e quindi non danno luce.

Il principio di Ugenio ha ricevuto una prova decisiva dalle moderne sperienze dei reticoli, nei quali le parti delle onde lontane dalla linea retta del raggio passato per ciascuna apertura sottilissima, rinforzandosi in alcuni siti danno le frange colorate a grande distanza dall'asse del raggio, mentre in altri punti si distruggono e danno spazi oscuri.

Questa è la causa per cui la dilatazione conica del raggio è maggiore quanto più piccolo è il foro, ossia quanto più piccola è la superficie dell'onda intercetta da cui emana l'onda seguente: ma nei raggi di certa dimensione essa è affatto insensibile, essendovi una più completa distruzione de' moti laterali. Siccome ogni minimo forellino è tale che può dar passaggio a molti e molti centri di onde, perciò è mestieri restringere il raggio a minime dimensioni per avere qualche effetto sensibile di dilatazione.

La distruzione reciproca dei movimenti ondulatori accennata da Grimaldi e usata da Ugenio, fu generalizzata da Young che ne trasse il principio detto delle *interferenze* ossia della distruzione mutua di due raggi. Questo principio consiste in ciò che ogni qualvolta abbiansi due raggi di origine comune, ossia due sistemi d'onde generati dalla stessa superficie, se uno di questi venga ritardato di una mezz'onda e poscia i due sistemi debbano nuovamente sovrapporsi, le fasi positive di uno coincidendo colle negative dell'altro i moti si distruggeranno e si avrà oscurità: se siano invece ritardati di due mezze onde, ossia di un onda intera, si avrà invece rinforzo essendo allora le fasi concordanti. E lo stesso dicasi per un altro ritardo qualunque, che darà distruzione, se sarà di un numero dispari di semionde, e rinforzo se di un numero pari.

Misurando le vie percorse dai raggi nei singoli casi si potè verificare la verità di questo principio, e per suo mezzo dar ragione di una infinità di fenomeni, come sono le frange di Grimaldi, la distruzione della luce passata per due forellini o per due fessurine vicine, o riflessa da due specchi ad angolo, o quella finalmente che ha luogo nelle lamine sottili. Fresnel in queste ricerche ebbe cura di fare le sperienze in modo che nulla potessero influirvi gli orli de' corpi, e così restò esclusa l'azione ripulsiva Newtoniana che supponevasi emanare da questi. E fu collo spostamento delle frange operato da esso e da Arago me-

diante una laminetta di vetro posta avanti a una delle fessurine, che si concluse che la luce si propagava più lentamente nei mezzi più rifrangenti che nell'aria, come voleva la teoria Ugeniana. Verità resa anche più palpabile ai giorni nostri dagli esperimenti di Fizeau e Foucault.

Questi esperimenti diedero la maniera di misurare la lunghezza delle onde che per lo stesso colore si trovò esser quattro volte esatte quella che Newton avea ammesso per lo spazio degli *accessi* nelle lamine sottili. Questa coincidenza lega in un modo ammirabile una infinità di fenomeni in apparenza diversissimi, che nella teoria Newtoniana erano vagamente spiegati e sconnessi, e trovarono una feconda applicazione in quelli che si scoprirono appresso nella polarizzazione cromatica.

La misura della lunghezza delle onde offre un interesse speciale per la distinzione delle radiazioni. L'onda per riguardo ai colori decresce in lunghezza dal rosso al violaceo, e quindi le vibrazioni che generano i raggi calorifici oscuri sono più lente che quelle che generano le azioni chimiche. La lunghezza dell'onda dell'estremo rosso presso la riga *A* di Fraunhofer è secondo Mossotti (1) 738 millionesimi di millimetro, la media dei gialli ove la sensazione del lume è più viva trovasi 553,5, e quella dell'estremo violetto presso la riga *I* è di 369: queste cifre esprimono molto prossimamente i limiti estremi di visibilità dello spettro per le viste ordinarie, e si rilèva che l'onda estrema del rosso è doppia in lunghezza dell'altra del violaceo, e che la più viva impressione si ha nel mezzo. Quindi l'occhio è sensibile all'intervallo che comunemente in acustica dicesi *un'ottava*.

Le discontinuità nello spettro solare trovate da Fraunhofer e indicate col nome di strie, mostrano che la varia-

(1) Mossotti *Sulle proprietà degli spettri di Fraunhofer* ecc. Pisa 1845 pag. 23.

zione di lunghezza delle onde che pervengono a noi accade con legge di discontinuità, e come coi potenti spettrometri moderni si è riuscito ad aver tali righe moltiplicate all'infinito, ne segue che da una lunghezza all'altra vi è realmente un salto misurabile benchè tenuissimo. Ma tali lacune non indicano una reale discontinuità nelle onde che sono suscettibili di generarsi nell'etere, ma sono dovute ad altra cagione che studieremo appresso: infatti esse svaniscono nelle luci emesse dai corpi meramente incandescenti, che danno spettri affatto continui. Dal che ci sia lecito raccogliere qui per incidenza, che le armonie de' colori dedotte dai rapporti trovati finora nelle lunghezze delle onde relative a queste strie oscure non sono abbastanza fondate, e volendo indagare tali rapporti nelle combinazioni dei colori grate o ingrate all'occhio, sarà meglio partire dalla lunghezza spettante a quelle tinte che in arte si trovano più indicate pel buon effetto di accordo.

Ma i limiti estremi delle radiazioni calorifiche e chimiche sono ben assai più discosti. Secondo Müller la più lunga del calorico oscuro misurata finora ha 0,mm00183, onde è tripla di quella della riga *D* che esso trova 0,mm0006, e sestupla dell'estremo raggio fluorescente al di là del violetto che è 0,mm0003 secondo Esselbach: talchè le onde calorifiche sono circa 6 volte più lunghe delle estreme chimiche o fluorescenti. Tale estensione forse si troverebbe maggiore nella luce elettrica coi delicati metodi di Stokes, il quale ottiene spettri la cui parte fluorescente è sei volte in lunghezza quella della parte luminosa (1).

La durata in tempo di una vibrazione di color giallo essendo 530 trilionesimi di secondo, si rileva che una sola o poche onde successive non possono scuotere il nervo ottico, il quale non è sensibile che ad un'impressione discreta-

(1) Müller B. U. *Arch. sc. phys.* vol. 4. 1859 pag. 364 e Silliman *Journal* July 1863 pag. 108.

mente viva se non dura almeno qualche centesimo di secondo, nel qual tempo passano più bilioni di esse. Questa ragione si aggiunga a quella data di sopra per spiegare come la luce laterale delle onde diffuse e sperperate nel passaggio pei fori angusti non riesca sensibile all'occhio, e perciò le onde luminose non sembrino spandersi come realmente fanno (V. pag. 143).

Essendo la velocità colla quale si propaga il moto vibratorio in un mezzo dipendente dalla sua elasticità, siccome la luce ha velocità enorme, che è di 77 mila leghe da 4000 chilometri l'una per secondo, (ossia 308000 chilometri per secondo), risulta che nell'etere l'elasticità deve esser somma, e sia che essa provenga dalla costituzione stessa del fluido formato come volea Ugenio di globi elastici, sia che derivi da atomi duri per mero effetto delle loro rotazioni, sempre deve essere grandissima. La teoria insegna che in un mezzo omogeneo la concussione si propaga con una velocità espressa per la radice quadrata del rapporto della elasticità alla densità, $V = \sqrt{\frac{e}{d}}$, quindi se noi potessimo conoscere isolatamente uno dei due termini che costituiscono questo quoziente avremmo l'altro, ma finora non è stato possibile determinarli. Si dice è vero che l'etere deve esser rarissimo negli spazi planetarii, e se ne allega per prova la nessuna resistenza che esso presenta ai pianeti: ma anche senza decidere se siavi o no tale resistenza, ciò è una petizione di principio, perchè suppone che l'etere non sia destinato che a propagare la luce, e non possa esso stesso produrre la gravità: che se tale fosse il caso, è manifesto che potrebbe esser densissimo senza contrastare ai medesimi. D'altronde pare assai difficile concepire che per un mezzo estremamente raro (cioè in cui atomi piccolissimi siano sparsi a grandi distanze) come alcuni credono, si possa propagare il moto con tanta celerità, e in onde così minute che 3000 almeno ne possono stare in

un millimetro. Cauchy da calcoli delicati su certe osservazioni di Arago concluse che le singole molecole dell'etere devono esser meno lontane di $\frac{1}{200}$ dell'onda rossa (1).

Alcuni andando all'altro estremo hanno supposto l'etere essere un mezzo continuo: ma tale ipotesi è dimostrata assurda, come vedremo, dai fenomeni della polarizzazione della luce che mostrano esser esso composto di molecule o atomi separati. Noi finora non possiamo fare un paragone della sua densità colla materia ponderabile, per la semplice ragione che esso è una materia in tutt'altra condizione moleculare di questa, e ci mancano termini di confronto.

Certo è però che esso è materiale e vien messo in agitazione dalla vibrazione delle particelle de' corpi in ignizione, come l'aria nei suoni è messa in agitazione da' corpi sonori; e si hanno preziosi riscontri tra le due classi di fenomeni. Infatti come il solo orecchio percepisce la vibrazione aerea come *suono*, benchè ogni nostro membro possa sentire il fremito di un corpo sonoro come una specie di urto, così l'occhio solo ha la facoltà di sentire il moto dell'etere come *luce*, ma tutte le membra possono ricevere la sensazione della vibrazione del corpo agitato sotto l'aspetto di calore. — Come tanto quel fremito del corpo quanto il suono sono movimenti, ma in due corpi diversi, cioè uno nell'aria, l'altro nel solido, così la luce e il calore detto di stato sono moti, l'uno dell'etere, l'altro del corpo pesante. — Inoltre alla guisa che non tutti i moti dell'aria sono sensibili all'orecchio, ma alcuni gli sfuggono per la troppa *gravità*, e altri per la troppa *acutezza*, così è nell'occhio per le radiazioni estreme dello spettro calorifiche e chimiche. — Come i corpi sonori per mezzo dell'aria destano vibrazioni nei corpi accordati all'unisono, benchè posti a distanza, operando per mezzo dell'aria stessa, così un

(1) Cauchy *Exercises d'Analyse et Phys. Math.* T. I. pag. 326.

corpo caldo per mezzo dell'etere desta calore in un altro lontano, e così accade la comunicazione per semplice radiazione. Dietro questi principii è vano cercar luce senza calore, come già il Melloni concluse alla fine della sua troppo breve carriera scientifica. — Come le vibrazioni de' corpi sonori sono piccolissime riguardo alla lunghezza delle onde generate, così è anche pei corpi luminosi. Grove facendo riflettere un raggio di sole da una lamina di platino pulita a specchio, non trovò differenza nella luce riflessa, quando la lamina era fredda e quando era arroventata per una corrente elettrica.

Tanto le radiazioni chimiche quanto le caloriche sono soggette all'interferenze, cosicchè anche queste sono un moto ondulatorio, e le azioni chimiche della luce si trovano ridotte ancor esse ad una azione meccanica, come già si disse del calorico de' corpi. La domanda « che cosa diventa la luce quando si estingue? », si converte in quest'altra « che cosa diviene il moto quando non è più percettibile ai nostri sensi? » E il problema che forma una vera difficoltà nel sistema dell'emissione e a cui non si può adequatamente rispondere fuorchè supponendo un annientamento della materia, diviene un caso della trasformazione del movimento.

Per ora bastino questi cenni, che svilupperemo meglio a suo luogo, per far vedere come la teoria meccanica del calore riceva dall' ottica, come promettemmo, il suo più sostanziale complemento.

Qui resta che diciamo qualche cosa in genere su questo etere che serve a tale propagazione, ad ammettere il quale sembrano alcuni avere una decisa repugnanza.

Molti moderni vedendo patentemente come sia impossibile sostenere l' emissione Newtoniana, sono passati all'opinione che la luce possa propagarsi semplicemente per mezzo della materia ponderabile (1). Questa opinione sarà

(1) Tra questi è il celebre sig. Grove da noi tante volte citato.

a suo luogo discussa quando tratterassi della propagazione della luce pei corpi solidi e diafani, perchè in essi l'etere ha tale legame colla materia ponderabile che qui non può decidersi se esso solo operi in tale propagazione. Per ora noi supporremo che esso possa penetrare tutti i corpi, come lo fanno le molecole dei newtoniani e come gli altri li suppongono permeabili alle loro radiazioni, e lasciando da parte la questione generale, ci restringeremo semplicemente a considerare la propagazione negli spazi planetari.

Se in questi si suppone esistere materia ponderabile propriamente detta e con tutti i suoi attributi, sicchè questa sia una continuazione delle atmosfere planetarie, tale ipotesi noi non dubitiamo di dirla semplicemente assurda. Nulla prova tale diffusione indefinita delle atmosfere e la meccanica celeste sarebbe affatto distrutta. Nè vale supporre questa materia estremamente rarefatta, perchè in essa come poi potrebbesi trovare tanta elasticità e rapidità di propagazione quanta è necessaria per la luce? Anzi siccome per la legge di Mariotte (poichè essa dovrebbe valere anche a quell'estrema radezza) l'elasticità sarebbe proporzionale alla densità, e la velocità di propagazione rimarrebbe la stessa che noi vediamo nei moti dei corpi pesanti, vale a dire infinitamente più lenta che quella della luce. Ma se tali atmosfere s'intendano fatte da continuazione di materia attenuata e posta in istato rigorosamente ripulsivo, cioè di atomi elementari, la quistione muta aspetto e la controversia diviene secondo noi più di nome che di sostanza, come dicemmo altrove.

È cosa veramente singolare il vedere come mentre alcuni fisici cercano di ridurre tutto all'azione dell'etere, altri trattano questo agente come fosse un ente fantastico, e stimano che se ne possa fare a meno nella spiegazione della costituzione de'corpi. Pensano questi che qualor sia provato esser il calorico e l'elettrico un mero movimento della materia ponderabile, possa eliminarsi anche il mezzo

imponderabile che serve alla propagazione della luce, quasi che di qualche mezzo potesse farsi mai a meno!

Noi diremo che se effettivamente potè abolirsi il *fluido* calorico, e nella elettricità molti fatti si spiegano col solo moto della materia ponderabile, ve ne sono però molti altri cui questa sola non basta a spiegare, altrimenti che ammettendo o delle azioni a pura distanza senza alcun intermedio il che è affatto assurdo, o delle forze astratte, della cui quiddità non possiamo farci nozione alcuna, e che perciò noi cerchiamo di escludere. Tali sono p. es. le azioni elettrodinamiche e del magnetismo che in tutti i casi una vasta esperienza prova passare ove manca ogni materia pesante. Nè è un negare le teorie meccaniche nella spiegazione de' fenomeni l'ammettere un fluido che coi suoi moti produca certi effetti, come non nega i principii del moto chi dice che l'acqua sale per le trombe per la pressione dell'atmosfera, o che il suono arriva a noi per mezzo dell'aria. Nè è un creare enti imaginari quando i fatti di una classe sono inesplicabili senza tal mezzo, e quelli di un'altra ne ricevono *almeno* più commoda spiegazione; perchè è legge nello studio della fisica che i principii si provano colle conclusioni e non viceversa. Ora i fenomeni della luce sono inesplicabili senza tal mezzo, e molti difficili problemi di altri rami di fisica possono intendersi meccanicamente col suo intervento in modo infinitamente più semplice che senza di esso.

La ripugnanza ad ammettere un mezzo tra noi e gli astri sembra essere un involontario risultato di quell'abitudine che abbiamo di negare l'esistenza di ciò che non ferisce i nostri sensi, specialmente della vista o del tatto, ma la più semplice esperienza ci persuade che è gran leggerezza tenersi a tale criterio. E questo è il caso attuale.

Anche Newton stesso, caldo fautore delle forze astratte, non dubitò dire che la forza della gravità poteva derivare

dall'azione di un qualche mezzo interposto (1): anzi giudicò che senza esso saremmo condotti ad ammettere un'azione de' corpi a distanza, che è assolutamente assurda « Non si » può comprendere (scriveva esso nella 3ª lettera a Bentley) » come una materia inanimata e bruta senza l'aiuto di un » agente che non sia materiale possa operare e produrre » cambiamenti in un'altra materia senza reciproco contatto » (come dovrebbe intervenire se la gravità fosse ad essa » inerente ed essenziale giusta l'avviso di Epicuro) . . . . Il » supporre che la gravità sia innata, inerente ed essenziale » alla materia di guisa che un corpo potesse estendere, la » sua azione ad un altro discosto senza l'interposizione di » qualche altra cosa diversa, da cui e per mezzo di cui » la loro forza ed azione potesse esser messa in contatto » scambievole, a me pare cotanto assurda cosa, che credo » che nessun uomo il quale abbia in fatto di filosofia una » competente abitudine al meditare possa incapparvi. La » gravità debbe la sua origine trarre da un' agente che » operi costantemente e secondo alcune determinate leggi; » ma se questo agente sia materiale o immateriale ai miei » leggenti lasciai nella mia opera il considerarlo » (2).

Queste ultime parole di Newton sono state l'origine di un'abbaglio in alcuni, che credettero l'etere esser qualche cosa di immateriale, perchè è imponderabile. Ciò è confondere due cose assai diverse, cioè l'inerzia e la gravità: questa non è punto essenziale alla materia come l'altra, onde può esservi materia vera e non pesante, ma ogni materia deve esser inerte, cioè esiger forza per esser messa in moto. E ciò è tanto vero che fu sospettato poter esser

(1) Quam ego attractionem appello fieri sane potest ut ea efficiatur impulsu vel alio aliquo modo nobis ignoto. *Optice* Q. 28. pag. 322.

(2) Traduz. dell'E.mo de Luca nel Giornale Arcadico. Osserviamo però che in questa lettera egli dice apertamente che tal agente è materiale (in 3ª lin. cit.).

questo stesso fluido la causa della gravità. L'etere ha certamente altro stato costitutivo diverso da quello dei gas o degli altri corpi a noi famigliari, ma la sua natura non può decidersi ancora dalle proprietà che abbiamo finora studiato, e dovrà rilevarsi dai fenomeni che analizzeremo appresso.

In quanto al trovarsi l'etere nell'interno di tutti i corpi, ciò può appena esser soggetto di difficoltà, sapendosi l'immensa porosità loro anche dei più compatti, e dovendo esser tali per dar passaggio alla luce in qualunque sistema ideato finora. Ma vi è una differenza sostanziale tra la porosità che deve ammettersi nei due sistemi, perchè nella emissione i pori dovrebbero essere in linea retta per tutti i versi il che è appena concepibile, nell'altro invece possono esser comunque disposti, potendo le onde girare attorno alle molecole (1).

I fisici che rigettano l'etere, ma ammettono attenuazione della materia, hanno proposto che la luce potrebbe bene spiegarsi per l'emanazione a periodi alternativi fatta dai corpi di tale materia attenuata, col che stimano essi di poter conciliare i due sistemi. Ma noi crediamo che non a tutti i fatti della luce possa applicarsi tale teoria, e specialmente a quelli della polarizzazione. Ma anche senza tale difficoltà ci sembrano essi invocare un azione fuor del bisogno. Perchè se è vero che tale emanazione è continua ed è stata tale fin dal principio della creazione della materia, lo spazio deve esser a quest'ora già pieno di questi *minimi*, o *monadi* che vogliano chiamarsi, e il loro insieme deve già equivalere ad un vero mezzo *fisicamente* continuo, che tutto riempiendo lo spazio di materia in condizione repulsiva, formerebbe un vero fluido in realtà sottratto all'azione della gravità. A questo mezzo potrebbe in qual-

(1) Questa riflessione è di Leop. Nobili *Nuovo tratt. d'ottica*. Milano 1820.

che modo applicarsi ciò che dell' aria scriveva Lucrezio (Lib. V. v. 276.)

Semper enim quodcumque fluit de rebus id omne
Aeris in magnum fertur mare, qui nisi contra
Corpora retribuat rebus recreetque fluenteis
Omnia iam resoluta forent et in aere versa.

Tal materia attenuatissima colla sua pressione agir dovrebbe dappertutto, e fare in sostanza quello che si attribuisce all'etere dagli altri. Or se lo spazio è pieno di tal materia, come potrà essa rimanere inattiva nei movimenti che in essa si compiono? come potrà non partecipare alle vibrazioni de' corpi incandescenti e raggianti? E se è così come essa distinguesi dall'*etere?*

Inoltre questi tali non isfuggono alla necessità di ammettere ad ogni momento delle forze ora ripulsive, ora attrattive almeno in quanto costituiscono le molecole, cose tutte delle quali può farsene a meno nel sistema dell'etere.

Da questa discussione credo, apparisce abbastanza che le opinioni che al primo aspetto paiono cotanto opposte, non sono tanto lontane quanto si crede, e certamente almeno i termini di dispregio e dissi quasi di derisione prodigati da certuni all'ipotesi dell'etere sono poco logici. Se si è progredito nella cognizione dell'unità delle forze fisiche col dimostrare che molti fenomeni attribuiti a fluidi diversi non sono che moti della materia ponderabile, non è logico voler estendere ciò a tutta la fisica; e nell'analisi che faremo de' fatti seguenti, vedremo che per altra via affatto indipendente saremo condotti ad ammettere un tale agente, anche nella spiegazione de' fatti dipendenti dall'elettricità. Un distinto fisico ha scritto che l'idea dell'etere o di un fluido non dà nozione più chiara che quella di *forza* (1): noi all'incontro

(1) Grove *Correl. des forces phys.* pag. 127.

crediamo che l'idea di forza sia assurda nei fenomeni materiali senza un soggetto pure materiale a cui sia inerente, mentre quella di un fluido non è certamente tale, benchè sia intangibile o imponderabile, come fu creduta per gran tempo l'aria; e d'altronde la massa di tal fluido in moto già diviene una *forza*. In quanto al farsi per tal mezzo più o meno accessibile la spiegazione de' fatti della natura, il mostrarlo è ciò che siamo per fare, e speriamo che sarà provato che tal fluido ammesso per la luce non è punto inutile per intender gli altri fenomeni.

Siccome però dobbiamo far rilevare le proprietà di questo mezzo dai soli fatti a mano a mano che li andiamo analizzando, passeremo a discutere successivamente quelli che ci rivelano la sua materialità ed inerzia, per passare poscia a quelli che potranno indicarci la sua costituzione e la sua maniera di agire.

§. 4.

Materialità dell'etere e scambio di moto tra esso e la materia ponderabile: assorbimento de' corpi per la luce.

L'etere finora dobbiamo concepirlo come un fluido elastico, riserbando a trattare altrove dell'indole di questa elasticità. Esso però è sempre una materia inerte, onde crediamo espressione assai erronea quella di dirlo *immateriale* anche soltanto per opposizione alla materia pesante, perchè è sempre questa una locuzione soggetta ad equivoco. Siccome tutti i corpi sono permeabili dall'etere così sarebbe impossibile riconoscerne il peso ancorchè l'avesse, come fu per gran tempo impossibile conoscere il peso dell'aria prima di saperla condensare o rarefare nei recipienti. Mancando pertanto la prova del peso, la prova della sua materialità si riduce a quella della sua inerzia, ossia alla sua resistenza al moto. Questa resistenza si è cercata da alcuni

nel corso degli astri, e a tal proposito si è recato in mezzo l'acceleramento di alcune comete (1). Ma ciò non è sicuro, nè ragionevole. Infatti non è provato fuori di ogni controversia che quelle perturbazioni cometarie dipendano solo dalla resistenza di un mezzo e se anche da questa derivassero, tal mezzo resistente potrebbe esser un altro, cioè quello che forma la luce zodiacale, o gli sciami delle stelle cadenti ec. (2) Di più essendosi trovati tanti pianetini tra Marte e Giove (che finora sono in numero di 79) chi ci assicura che non forse alcuni di questi non possano porsi sulla via di quelle comete e perturbarne i moti nel modo stesso che farebbe un mezzo resistente? Sicchè la cosa è ben problematica da questo lato. Non sarebbe poi molto ragionevole aspettarsi tale resistenza dall'etere, perchè qui si tratta di una materia, che molto probabilmente appunto colla sua azione può produrre la gravità, nel qual caso è evidente che i corpi celesti non sarebbero da essa disturbati. Così cadrebbe l'obbiezione di Newton che tal mezzo dovea resistere ai corpi celesti. Nè ammesso l'etere vi è poi bisogno di immaginare che la gravità si produca alla maniera grossolana dei vortici Cartesiani, nè per via delle vibrazioni calorifiche o luminose direttamente, potendosi benissimo concepire che accada in altro modo del che discorreremo altrove.

Noi crediamo che i fenomeni moleculari ci possano dare meglio che gli astronomici, il modo di provare l'inerzia e per ciò la materialità dell'etere.

Primieramente ogni corpo caldo collocato nel vuoto si raffredda per raggiamento, cioè senza nessuna comunicazione a contatto diretto cogli altri corpi pesanti. Quindi l'agitazione del corpo ponderabile non per altra via si estingue che per comunicarsi alla imponderabile che lo circonda:

(1) La più famosa è quella di Encke, ora Axel Möller ha trovato simile perturbazione in quella di Faye.

(2) Vedi Faye *Compt. Rendus* 1861, e Plana *Mem. Acad.* di Torino vol. XXI.

nè per ispiegare tale raffreddamento possiamo dire che il moto si annienti semplicemente nel corpo raggiante, perchè è manifesto che una porzione di questo moto passa ai corpi lontani, il che non potrebbe negarsi senza ammettere una creazione del moto in questi per la sola presenza di quello. È adunque la forza viva della materia ponderabile che si comunica alla imponderabile e in tale atto si estingue nella prima, onde la seconda deve avere una massa, la quale benchè si sottragga alle bilancie non è perciò meno sicura.

Il sole è per noi la sorgente più copiosa di radiazioni la sua forza raggiante dovrebbe scemare se non avesse una causa compensatrice delle perdite quotidiane. La temperatura del sole è enorme: Waterston calcola il suo valor potenziale a 6700000 gradi centig. ma valutando le perdite che esso subisce continuamente si dovrebbe raffreddare almeno 3° all'anno. Dai dati di Pouillet si calcola che ogni piede quadrato della superficie solare emette 2781 calorie per secondo, il che equivale ad una azione meccanica di 53540 chilogrammetri (1): e già vedemmo che il calorico emesso da un chilogrammo di ossigene e di idrogene in proporzione per far l'acqua, appena basta ad alimentare su di un piede quadrato il suo calore per 5 minuti di tempo! Se il corpo solare fosse un mero corpo riscaldato senza mezzo di riparazione, si prova con facil calcolo che la sua temperatura dalle epoche storiche in qua avrebbe dovuta esser diminuita sensibilmente, il che non è punto accaduto. Deve quindi il sole avere una sorgente di riparazione a tante perdite, la quale dove possa trovarsi lo diremo a suo luogo (2).

(1) La quantità che arriva a noi è 0,06 di caloria per piede quadrato, questa moltiplicata per l'equivalente meccanico, e pel quadrato del rapporto della distanza del sole al suo raggio dà il numero spettante alla sua superficie.

Thomson *On the energy of solar system*. Ph. Trans. of Ed. tom. XXI. pag. 66. V. sopra pag. 78.

(2) *Bullett. Meteorol. dell'Oss. d. Coll. Rom.* Vol. II. 1863.

Inversamente il moto dell' etere produce moti nella materia pesante: quindi troviamo che la luce si estingue cadendo su di essi e si trasforma in calore, e più si scaldano i corpi meno riflettenti e i più neri. Tale azione assorbente benchè generalmente sia in proporzione della luce che sparisce, non è però indipendente dalla natura delle radiazioni e dalle proprietà molecolari de' corpi. Così un limpido cristallo di allume assorbe quasi tutto il calore, mentre un vetro nero opaco o un quarzo affumicato quasi opaco lo lascia passare in gran copia. Questi fenomeni sono analoghi a quelli che accadono pei colori, e sono una prova della diversità delle radiazioni oscure analoga alla diversità delle luminose, ossia provano la *termocrosi* di Melloni.

A metter meglio in vista lo scambio di movimento tra l' etere e la materia giovano sommamente le recenti scoperte spettroscopiche. È fatto notissimo che guardando attraverso uno spettrometro (1) un corpo solido incandescente, si ha uno spettro continuato senza veruna di quelle righe oscure trasversali che vedonsi nello spettro solare. Ma ove l'incandescenza si spinga avanti al punto che alcun elemento del corpo entri in vera combustione, allora si manifestano delle righe luminose di diverso colore secondo la sostanza che brucia. Queste righe sono separate da spazi oscuri, e talora le righe lucide si riducono a una o a pochissime, ma sempre si ha uno spettro discontinuo e diverso per ciascuna sostanza. Comunemente questi spettri sono misti e le righe lucide si vedono su di un fondo luminoso, perchè alla sostanza che si brucia chimicamente

(1) Lo spettrometro è formato di uno o più prismi purissimi posti dietro a una fessura strettissima lontana, attraverso la quale e i prismi si riceve la luce del corpo luminoso. La fessura può mettersi anche vicina ai prismi purchè si interponga un obiettivo acromatico che renda i raggi da essa emanati ben paralleli. Il fascio di raggi uscito dal prisma si guarda ad occhio nudo o con un cannocchiale.

sono miste molte altre molecole meramente incandescenti (2). I sistemi di righe più puri osservansi nella combustione elettrica mediante la corrente scintillante della pila (3), mentre colle correnti di induzione si hanno i due fenomeni congiunti. Generalmente parlando la costanza di queste vibrazioni è tale che si sono potute distinguere le nuove sostanze elementari dalle righe non prima vedute nel bruciare i corpi conosciuti. Però la qualità della vibrazione dipende anche dalla temperatura, e così il tallio oltre la riga verde sua caratteristica ne emette altre ben distinte ad altri gradi di temperatura diversi dalla combustione ordinaria (Miller), e nella volatilizzazione elettrica (Grove), lo stesso accade nel sodio ed altre sostanze. Esse sembrano anche dipendere dalla diversa compattezza delle sostanze, e dalla densità loro se trattasi de' fluidi elastici; quindi nella luce elettrica dei carboni può aversi lo spettro o tutto continuo o a righe secondo che si usano qualità di carbone più o meno disgregabili (Daniell), e Robinson dimostrò che la presenza di una seconda sostanza produce linee che non sono proprie di nessuna delle due. Potrebbe dubitarsi se la combinazione chimica sia sempre richiesta, perchè queste righe osservansi colla elettricità nel vacuo o nei gas non comburenti, onde pare che basti una semplice volatilizzazione.

Nel sole la quantità delle righe luminose è tanta che lo spettro apparisce a prima vista continuo, ma collo spettroscopio si è riconosciuto che nessuna parte di esso è rigorosamente tale. L'infinita copia delle righe lucide dipende

(2) Nella fiamma ordinaria delle lucerne a olio o del gas le righe non si vedono che nella parte inferiore violetta, ove è la combustione più attiva e si forma l'ossido di carbonio: il resto della fiamma è mero carbone incandescente. All'incontro nella fiamma della legna o della carta si ha una riga gialla viva che è quella del sodio, col resto del carbone incandescente.

(3) V. il Giornale intitolato *Nuovo Cimento*, del Matteucci anno I. 1852.

dalla immensa varietà de' materiali in incandescenza, dalla prodigiosa sua temperatura, e le oscure dall'assorbimento della sua atmosfera.

Questi fatti ci fanno vedere che dobbiamo distinguere due stati luminosi ne' corpi, uno di mera incandescenza l'altro di volatilizzazione o azione chimica. Il primo può compararsi ai rumori de' corpi sonori che consistono in onde confuse e di tutte le lunghezze simultaneamente: gli altri ai suoni emessi dai corpi armonici, p. es. le corde. Quando un corpo comincia a vibrare in modo da riuscir sensibile all' occhio, senza passare a chimica combinazione o volatilizzazione, finchè durano ancora i legami molecolari emette onde di tutte le lunghezze, tranne le più piccole generatrici delle chimiche azioni: ma quando le molecole passano allo stato di volatilizzazione, o sia a quello che si dice stato ripulsivo o attenuato, o quando entrano in chimiche combinazioni, allora le vibrazioni diventano poche e determinate in ciascuna sostanza. A ottenere quest' ultimo effetto apparisce esser necessario di mettere prima il corpo in quello che dicesi stato ripulsivo, che accompagna tutte le volatilizzazioni o azioni chimiche, allora solamente una molecola, non sentendo più il legame coll'altra, agisce indipendentemente e vibra secondo che conviene alla sua massa, tensione ed elasticità. Ogni molecola libera sembra avere una vibrazione propria dipendente dalla sua massa e dalla forza viva e temperatura quando è isolata, e forse a diversa temperatura essa stessa si suddivide e dà altre vibrazioni, ma questa vibrazione trovasi sconcertata e sturbata quando sta il corpo soggetto ai legami moleculari. Simile fatto avviene anche in acustica poichè mettendo degli impedimenti ai corpi sonori non si hanno più armonie musicali, ma semplici stridori o rumori. E per ciò si disse sopra (a pag. 69) che le osservazioni spettrali mostravano esistere nei corpi solidi certi gruppi che doveano disgregarsi per dar luogo ai corpi in istato elastico.

La forza ripulsiva elettrica è la più efficace in tale operazione, e qui troviamo esser quella che dà luci più pure e distinte. È ignoto finora qual legge governi la formazione di queste vibrazioni, e sarebbe inutile emettere delle congetture, ma può asserirsi con certezza che i loro periodi devono essere in istretta relazione colle loro masse elementari e colla lor forza viva.

Ma passiamo a mostrare come le ricerche spettroscopiche somministrino un mezzo assai prezioso da riconoscere lo scambio reciproco di moto tra l'etere e la materia ponderabile.

Se avanti allo spettrometro tra il corpo incandescente e la fessura si metta una boccetta di cristallo a facce piane che abbia dentro del vapor di iodio o dell'acido nitroso, si vedranno comparire nello spettro molte righe oscure simili a quelle dello spettro solare, onde lo spettro diventerà discontinuo. Questo è manifestamente un fenomeno di assorbimento, il quale si esercita sopra alcune onde speciali, lasciando liberamente passare le altre benchè vicine. La nettezza e definizione di tali limiti distingue questo assorbimento da quello de' solidi che si estende a zone più o meno larghe e diffuse, ma in fondo esso è fondato sul medesimo principio.

Tale proprietà assorbente non è propria solo dei due suaccennati gas, ma sembra comune più o meno a tutte le materie poste in istato di vapore, non solo alla temperatura oscura, ma anche a quella d'incandescenza, il che dà origine ad alcuni fenomeni singolari. Così se una fiamma alimentata dall'alcool in cui sia sciolto del cloruro sodico s'interponga alla luce elettrica de' carboni o alla solare, si vedrà nascere nello spettro una riga nera assai forte colà ove stà la riga *D* di Fraunhofer (Foucault). I vapori di strontio, ferro e altre sostanze metalliche producono lo stesso effetto, ma in altri luoghi (Bunsen). Ora l'esperienza fa rilevare che i raggi da questi gas assorbiti sono precisamente quelli che emettono

queste stesse fiamme vedute isolatamente nello spettrometro. Così il sodio,che bruciando dà per tutto spettro una riga lucida al luogo di quella poc' anzi nominata *D*, ne produce una oscura in tutte le altre luci che attraverso di esso si guardano. Se non chè per essér qui i corpi incandescenti la luce su cui si proietta la fiamma deve essere più viva di essa per far rilevare il fenomeno: onde se la fiamma del sodio si proietti contro la debole luce dell'atmosfera, la riga gialla vedesi brillare sulla scura solare, ma se si guardi il sole direttamente, la riga apparisce come una zona nera. Questi fatti sono conosciuti col titolo di rovesciamento degli spettri, e conducono alla conclusione *che il vapore di una sostanza assorbe solo que' raggi che essa emette bruciando, e che in generale la facoltà di emettere e di assorbire i raggi sono correlative.* A questa conseguenza era arrivato il Tyndall studiando il raggiamento relativo e la termocrosi dei gas, e La Prevostaye e Desains l'aveano già trovata vera pei solidi in generale.

È necessaria conseguenza di questi fatti, che l'etere può propagare tutte le vibrazioni de' corpi di qualunque specie e lunghezza esse siano; ma laddove il corpo vibrante non ne emetta che alcune poche determinate, l'etere non potrà propagare che quelle. Inoltre quando le molecole ponderabili possono concepire la vibrazione omologa a quella dell'etere, nell'atto dello scotimento la forza viva di questo passerà alla materia pesante. Però siccome non tutte le molecole di questa possono vibrare all' unisono colle onde dell'etere, ma hanno questa proprietà soltanto quelle di certa massa, volume, ecc., così queste sole si approprieranno la forza viva dell'etere, e le altre resteranno in esso senza disturbarne il moto. È questo in sostanza un fatto analogo a quello che succede in uno strumento musicale a corde, per es. un'arpa, in cui concepiscono vibrazioni soltanto quelle corde che sono all' unisono d' alcun suono armonico e non

le altre, nel quale atto però di concepire la vibrazione la corda assorbe la forza viva dell' aria.

Ma il fatto presente essendo di grande importanza per la teoria che trattiamo sarà bene analizzarlo più minutamente. Prendiamo per esempio il rovesciamento dello spettro de' carboni elettrici prodotto dal sodio. Quando la fiamma di questo è sovrapposta allo spettro dell'altra luce, deve considerarsi una doppia oscillazione che si propaga per una determinata linea: la prima è quella del sodio che trasmette all' etere un onda di 0,^{mm}0006, quale è quella della riga D che è oscura nello spettro solare. Chiamiamo Mv^2 la forza viva di questa oscillazione. L'altra onda eguale in lunghezza parte dai carboni elettrici, ma con intensità diversa MV^2: quando s'interpone la fiamma alla luce de'carboni, essendo le molecole del sodio capaci di vibrare all' unisono con quest'onda, esse concepiranno pel suo urto una forza viva che sarà generalmente una semplice frazione di quella dell'onda eterea, perchè la massa delle molecole del sodio è assai maggiore di quella dell'etere, e tale aumento potrà esprimersi per $\frac{1}{K} Mv^2$: quindi la somma delle forze vive con cui vibrerà la molecola del sodio e invierà all'occhio la luce sarà $Mv^2 \left(1 + \frac{1}{K}\right)$. Se questo prodotto arriva ad eguagliare MV^2 de' carboni non si avrà nè aumento nè diminuzione di luce, ma vi sarà o l'uno o l'altro secondo che esso sarà maggiore o minore. Ma tal minor luce sarà sempre relativa, ed è evidente che non potrà qui aversi un'oscurità assoluta come nelle interferenze.

Questi fatti provano pertanto un' inerzia nell' etere, e quindi la sua materialità. Essi danno pure un principio per spiegare l'assorbimento in molti altri corpi, e la legge generale che questo è in ragione dell'emissione, assorbendo essi a preferenza la forza viva delle onde di quel ritmo medesimo che essi emettono colla loro spontanea oscillazione.

Però a spiegare l'assorbimento in genere questo solo principio in molti casi non basta, ma se ne deve invocare un altro, ed è l'irregolarità di forma delle molecole stesse del corpo trasparente.

Ciò sembra discendere come conseguenza dai bei lavori di Tyndall, che trovò l'assorbimento dei gas esser tanto più forte quanto è più alta la complicazione della loro composizione. Così il vapor d'acqua assorbe 60 volte più che una pari massa di idrogeno ed ossigeno (1), e lo stesso accade per l'ammoniaca che ha 150 volte più forza assorbente che i gas elementari che la compongono. Quindi il gas oliofaciente e i profumi de'fiori e i vapori de'vari eteri e spiriti si trovano corpi sommamente assorbenti, senza dubbio per la complicazione della loro struttura. Le onde eteree che facilmente si piegano e girano attorno all'atomi de'gas elementari che forse sono solidi semplicissimi o sferici, dovendo circondare e piegarsi attorno a queste molecole composte, probabilmente angolose e poligone, presto si estinguono, appunto come il suono nelle sostanze soffici, e le onde del mare nelle scogliere.

Nell'atto però che si estinguono, la loro forza viva non si annienta, e il lavoro che fanno è una vibrazione generale e più lenta, propria della materia pesante che costituisce il riscaldamento termico, ovvero produce una dissociazione delle molecole più strette e rende la libertà a quelle che sono legate in gruppi più compatti, nel che consiste l'azione di analisi chimica prodotta dalla luce, che per la sua importanza merita di essere partitamente trattata.

(1) Tyndall. *Philos. trans.* 1862. Questa gran forza assorbente del vapor d'acqua è in parte contrastata dal Magnus, volendo questi che sia solo 5 o 6 volte più forte dell'aria atmosferica: tal dubbio non si estende ad altri composti di cui si parla nel testo.

§. 5.

Delle operazioni chimiche prodotte dalla luce: fluorescenza e fosforescenza.

La luce produce non meno le sintesi che le analisi. Il fenomeno dell'annerimento de'sali d'argento prodotto dalla luce consiste in una vera separazione degli elementi che compongono il sale, per cui una parte del metallo resta in istato di finissima polvere nera sulla carta; mentre gli altri componenti subiscono altra combinazione. Ciò che nella preparazione non è metallo ridotto si toglie lavando la carta coll'iposolfito di soda o col cianuro potassico, che non hanno azione sul metallo, e così l'immagine è fissata, cioè non è più alterabile alla luce.

Un esempio di sintesi fatta dalla luce è quella del cloro coll' idrogeno per formare l'acido idroclorico, che al sole diretto si fa tanto rapidamente da dar luogo ad una violenta esplosione. Bunsen e Roscoe hanno tirato partito da questa combinazione operata lentamente per valutare la forza delle azioni chimiche della luce. Essi hanno trovato che quando la luce produce la combinazione chimica scema la sua intensità, onde la forza viva dell' onda si estingue nel lavoro chimico. Anche le luci ordinarie delle fiamme come quelle a gaz hanno un' azione chimica non dubbia, ma la lor forza meccanica è minore di quella che sviluppasi sotto l'aspetto di calore. Valutate pel gas da illuminazione le due forze in equivalenti meccanici dietro la temperatura svolta dall'acido idroclorico quando si combina nel modo ordinario, risulta che l'azione meccanica luminosa è appena un terzo dell'azione termica (1). Nelle scintille elettriche ordinarie, nella luce elettrica tra i carboni della pila, nelle combustioni molto energiche tali radiazioni sono assai

(1) *Phil. trans.* 1859. p. II. pag. 890.

più efficaci. Quella di un filo di magnesio bruciante nell'aria (che forma la magnesia) è la più viva dopo la luce elettrica, ed equivale a una pari superficie di sole a 9° di altezza sull'orizzonte. Ma le forze chimiche ed illuminanti sono ben lontane dall'esser proporzionali: perchè mentre l'illuminante del sole sta a quella del magnesio come 525 a 1, la chimica invece è solo come 37 a 1. Anche la luce elettrica dei carboni è in proporzione più ricca di raggi chimici che la solare, benchè la loro temperatura si valuti al più a 2070° dal Becquerel, che è assai meno del sole (1).

Risulta dai lavori di Bunsen e Roscoe che la luce solare incidente al limite superiore della nostra atmosfera è capace di produrre la combinazione di una colonna di acido idroclorico avente la superficie illuminata per base e 35 metri di altezza per ogni minuto primo. Però l'azione che arriva alla superficie terrestre non è che un terzo di questa, e il resto rimane assorbito dall'atmosfera. Ora non sarebbe difficile determinare l'equivalente meccanico di questa forza, perchè un centimetro cubico di idrogeno unendosi al cloro produce tanto calore da alzare di 2°.08. C. un grammo di acqua : ma senza trattenerci a farne il calcolo, ognun vede che tal potenza risulta enorme.

I botanici aveano già trovato da un pezzo che la luce è quella che sviluppa la clorofilla nelle piante e le fa crescere e maturare, e senza essa si putrefanno e i semi non arrivano a perfezione. Onde la luce è veramente uno de'grandi principii che agiscono in tutte le operazioni vegetali. Ed è ormai riconosciuto essere affatto insufficienti a caratterizzare i climi botanici delle piante le sole linee isoterme, ma esigersi anche quelle che dipendono dalla distribuzione della luce. Le nubi provvidenzialmente sono agenti diffusivi sommamente energici che portano la vita colà ove

(1) Becquerel, *Ann. ch. et Phys.* 3. ser. Vol. LXVII. pag. 142.

senza esse sarebbe una perfetta sterilità per la debolezza della radiazione diretta (1).

Nè le azioni sulle piante e quelle della fotografia sono le sole. Tutti conoscono l'influenza che essa ha sugli animali a colorirne la pelle, e la moltitudine di tinte che essa altera e distrugge, o anche talora produce, come accade nella porpora degli antichi, il cui vago colore dipende dall'azione chimica della luce sulla materia animale di certi molluschi. Egli è veramente sorprendente che un' azione così universale restasse per tanto tempo sconosciuta. Il che a dir vero ci può ragionevolmente far sospettare che ben altre forze potrebbero sfuggire anche al presente alla nostra ben scarsa cognizione della natura.

È interessante il considerare qui l' azione diametralmente opposta dei due generi di *viventi* che popolano il globo, i vegetali cioè e gli animali.

È noto che l'azione degli animali è esclusivamente ossidante, talchè nel loro organismo si esercita un' azione chimica sintetica per la quale ad ogni chilogrammo di carbonio ossidato si sviluppano 8080 calorie, onde si ha una forza meccanica disponibile dalla quale essi prendono la loro energia per lavorare. L'azione del vegetale invece è disossidante, onde un chilogrammo di carbone liberato dal suo ossigene deve avere assorbito la forza detta di sopra, e questa non da altro gli viene che dal sole. La pianta libera l' ossigene dalla combinazione completamente, ma non ci presenta il carbone in pari stato puro, ma invece in combinazioni che generalmente sono assai instabili con altre sostanze. Queste combinazioni poi nell'animale passano colla combustione in altre più stabili per es. di ossido, di acido carbonico, ecc.

Anche le radiazioni di colore oscuro possono promuovere azioni chimiche, ma in genere dai corpi meramente

(1) Bunsen e Roscoe *Philos. Trans.* 1859. loc cit.

incandescenti non si hanno radiazioni chimiche separabili nello spettro, o al più scarsissime. Ciò sembra dimostrare che per eccitare queste radiazioni si esige che la materia sia già ridotta a stato moleculare affatto disgregato, e sia divenuta attenuata e libera; nel qual fenomeno si avrebbe la conferma della legge altrove accennata, che ogni azione chimica suppone una previa attenuazione della materia, e che unicamente in tal caso i gruppi più minuti delle molecole sono i soli capaci di produrre vibrazioni sì corte che possano effettuare decomposizione negli altri. Si è negata ogni azione chimica ai raggi rossi e gialli, ma ciò ora è dimostrato insussistente, e i fotografi sanno che almeno questi raggi possono continuare l'azione cominciata dagli altri.

Le onde più corte hanno un'altra proprietà che le distingue, ed è quella di destare nei corpi altre onde secondarie che li rendono luminosi anche dopo cessata l'irradiazione esterna: il che costituisce la *fosforescenza*. Tutti i corpi solidi tranne i metalli possono dar tal luce più o meno persistente. I più famosi sono il fosforo di Bologna, quello di Canton, che consiste in gusci d'ostrica calcinati collo zolfo, lo spato fluore, certi diamanti ec. che rilucono per tempo notabile nell'oscurità; per li più la luce cessa dopo un tempo brevissimo. I fatti della fosforescenza furono tenuti da Neutoniani come una prova concludentissima della materialità della luce, che assorbita da corpi veniva poi a disperdersi appresso lentamente (1). Ma in realtà essi nulla concludono; perchè se ciò fosse vero, la luce emessa dai fosfori dovrebbe esser della stessa qualità e tinta della luce incidente il che è falso, essendo i raggi chimici i più efficaci, e la luce fosforica avendo refrangibilità e colore differente dai raggi che la destano meglio.

Invece questi fenomeni ci fanno vedere che sotto l'a-

(2) V. Priestley Op. cit. Per. VI. Cap. II.

zione dell'etere vibrante le molecole dei corpi concepiscono dei tremiti, a quella guisa che nel suono i corpi concepiscono dei tremori armonici o dei *fremiti*, i quali possono durare un certo tempo anche dopo cessata l' azione eccitante. Ciò è comprovato dal vedere che la fosforescenza è più durevole e viva ove la materia è più rarefatta, e manca la pressione dell'aria, come nei tubi di Geissler, essendo allora più libere le molecole. Ma in questo fenomeno sembra che vi abbia il concorso di forze di altra specie e specialmente dell'elettrico, poichè vediamo che corpi fosforici sono solo quelli che non sono deferenti dell'elettricità, e che un poco di umidità basta a far perdere tal virtù ai migliori di essi. L'azione molto potente della luce elettrica per destare la fosforescenza è certamente dovuta alla copia che sta in essa di raggi chimici; ma non ci sembra impossibile che la luce possa direttamente fare l'effetto di eletrizzare i corpi, come fanno le azioni meccaniche talora leggerissime, e alcuni recenti esperimenti sarebbero favorevoli a tale produzione. Ne riparleremo a suo luogo.

Questi fatti facendoci vedere che sotto l'azione vibrante dell'etere le molecole de' corpi entrano effettivamente in vibrazione, ha suggerito ai moderni una nuova maniera di spiegare i colori permanenti de' corpi. Questi dipenderebbero immediatamente da una vibrazione delle loro particelle più o meno analoga a quella del raggio incidente, e non da fenomeni di lamine sottili come credeva Newton.

I raggi chimici sono generalmente insensibili all'occhio, ma cadendo su certe sostanze possono rendersi visibili, nel che consiste la *fluorescenza*. In questo caso però la visibilità è solo indiretta, perchè per l'azione del corpo quei raggi hanno mutato refrangibilità, come può assicurarsi guardando una striscia così illuminata attraverso un prisma, poichè si vede che essa si decompone in altre tinte quasi come la luce bianca. Onde non può dirsi quì che sia l'oscillazione unisona all'onda incidente quella che viene diffusa. E

siccome la stessa cosa accade come si disse nelle luci fosforiche, ciò ha fatto ridurre le due classi di fenomeni a una sola, colla differenza però, che le vibrazioni seguitano a sussistere nella fosforescenza e cessano subito nella fluorescenza. Ma siccome non tutte le sostanze fosforescenti sono fluorescenti, almeno in grado eguale, come dovrebbe essere in tale ipotesi, così credo che sia bene conservare distinte le denominazioni de' due fenomeni.

Per spiegare la fluorescenza non sono ancora d'accordo i fisici nelle particolarità, benchè consentano nel principio, cioè nell'ammettere che esso sia mero fenomeno di oscillazione. Alcuni considerando che le onde riverberate sono d'ordinario meno refrangibili delle incidenti, le considerano come un effetto simile a quello che in acustica si ha nei battimenti, in cui da due suoni posti in certo rapporto e simultanei si genera un terzo suono più basso dei due componenti, e così qui si desti nelle molecole una oscillazione più lenta delle eccitanti. Altri invece considera le onde della fluorescenza come prodotte dalle oscillazioni dell'etere unicamente e che si generino in esso per l'azione della materia ponderabile, come in acustica si producono le onde *parallele* ai muri che sono anche dette onde *fisse*, e che sono ben distinte dalle onde meramente riflesse (Ångstroem).

Noi qui arrischieremo un' ipotesi. Avendo più volte considerato come le onde marine quando si accostano alla riva prendono una cresta parallela alla spiaggia per l'azione del fondo, e ivi giunte si rompono e danno origine ad altre onde di lunghezza diversa da quella che aveano in alto mare, non ci sembra impossibile che anche le onde eteree al contatto di certi corpi possano rompersi e variare di lunghezza e dar luogo a onde diffuse di altra refrangibilità. Dico diffuse, perchè realmente tali sono le luci riverberate nelle fluorescenze che si vedono da qualunque punto.

Ulteriori ricerche su questa difficile materia daranno

la vera spiegazione, noi ne concluderemo per ora che la combinazione delle oscillazioni eteree con quelle della materia pesante può dare origine a moti risultanti diversi dagli incidenti. Di più che non ogni produzione di luce proviene da alta temperatura, come si credette gran tempo, ma che certe azioni chimiche o moleculari possono generare direttamente ondicelle che riescano sensibili alla facoltà visiva. Ed è a questa classe di fatti che devonsi riportare le luci emesse da certi insetti e da altri animali, specialmente marini, e da alcune lente ossidazioni come quella del fosforo, de'pesci putrefatti, ecc.

Azioni meccaniche dirette non si sono ancora ottenute dalla luce, se pure non vogliamo a tal classe rivocare i fatti osservati dal Poggioli nelle piante *sensitive*, che esposte ad una luce viva di sole si ritiravano come fossero toccate da un agente meccanico (1). Oggidì gli esperimenti di Becquerel citati da Grove (2) hanno dimostrato direttamente che molte azioni puramente meccaniche bastano a promuovere delle chimiche azioni. Ma l'azione indiretta delle radiazioni produce un infinità di azioni meccaniche della cui ragione generale dobbiamo alquanto più particolarmente discorrere.

§. 6.

Riflessioni sugli effetti meccanici delle radiazioni: congetture sulla struttura interna de'corpi suggerite dalla teoria dell'etere.

Abbiamo fatto finora una copiosa rassegna tanto dei fenomeni di assorbimento termico, quanto di quelli spettanti all'azione chimica, e abbiamo di mano in mano fatto vedere come si riducano ad azione meccanica: resta ora

(1) V. Scritti inediti di A. Poggioli Roma nel 1862.
2) *Correl. des forces phys.*

a riassumere sotto un punto di vista più generale questa maniera di concepirli.

Tanto la forza viva della radiazione calorifica solare, che della radiazione chimica restano estinte nell'etere all'atto del lavoro che fanno nella materia pesante a cui si comunicano. Tal lavoro è doppio, cioè riscaldamento e azione chimica. Primieramente le vibrazioni solari generando il calore termometrico o di stato, si trasformano da moto dell'etere in moto della materia ponderabile, e questa alla sua volta concependo oscillazioni torna a scuoter l'etere. Però la temperatura del corpo riscaldato, essendo d'ordinario più bassa del riscaldante, il risultato è che le onde solari brevi si trasformano in onde lunghe. Ora queste essendo incapaci di venir trasmesse pei mezzi diafani e per l'aria di grande spessezza, come provò il Melloni, una gran parte di questo moto resta finalmente comunicato alla massa ponderabile e all'etere ad essa frammisto. Si calcola che solo un quarto della radiazione termica solare diretta arriva a noi attraverso l'atmosfera, e questa può dirsi quasi tutta assorbita dai corpi terrestri o dalla massa atmosferica più bassa.

Ogni qualvolta poi l'azione de' raggi solari produca mutamento di stato nei corpi, la forza viva resta assorbita dal lavoro fatto nel mutamento stesso moleculare. Non dispiacerà sentire come parlava Fresnel in questa materia, gran tempo prima che le moderne teorie meccaniche del calore fossero invalse. « *Il est probable que dans ces différents cas (d'absorption) une partie de la lumière se trouve denaturée et changée en vibrations calorifiques, qui ne sont plus sensibles pour nos yeux, parce qu'elles ne peuvent plus en penetrer la substance ou faire vibrer le nerf optique à leur unisson, en raison des modifications qu'elles ont èprouvées* (1). *Mais la quantité totale de la force*

(1) Ciò è ora dimostrato vero materialmente, essendosi i mezzi dell'occhio trovati adiatermani pei raggi calorifici almeno quanto l'acqua (Janssen).

vive doit rester la même, à moins que l'action de la lumière n'ait produit un effet chimique ou calorifique assez puissant pour changer l'état d'equilibre des particules des corps et avec lui l'intensité des forces aux quelles elles sont soumises. Car on conçoit que si ces forces s'affaiblissaient tout à coup, il en resulterait une diminution subite dans l'energie des oscillations des particules du corps chauffé et par consequent une absorption de chaleur, pour me servir de l'expression usitée. C'est peut-être ainsi que les choses se passent quand un solide se liquefie , ou quand un liquide se vaporise (1).

Questo passo, oltre lo stabilire la trasformazione di luce in calore, accenna in modo alquanto oscuro, ma però quanto basta, che il lavoro fatto all'atto del cambiamento di stato deve assorbire una quantità di forza viva della vibrazione stessa luminosa. Ciò poi si capirà anche meglio esaminando il secondo lavoro che è quello delle azioni chimiche. Questo consiste come si disse sopra (§. preced.) in disfare i gruppi più stretti e stabili come sono quelli dell'acido carbonico, dell'acqua e di molti sali che entrano come materia nel nutrimento di vegetali, per dar luogo a gruppi meno ristretti e più instabili, come sono quelli che compongono i legni, le resine e le altre sostanze organiche, che servono poi alla combustione, sia nei fuochi ordinarii, sia nelle viscere degli animali. In questa mirabile operazione de' vegetali opposta a quella delle combustioni , la forza viva resta ancor essa immagazzinata nella materia pesante e rappresenta una potenza meccanica disponibile e comparabile a quella del calorico e che anzi potrà all' uopo convertirsi in calorico.

Ora in qual modo comprendere questa azione e l'ammirabile meccanismo con cui han luogo nei vegetali tali operazioni ? Posto che la luce non sia una sostanza che si

(1) Fresnel *Suppl. à la chim. de Thompson* pag. 136 in fine.

combini cogli elementi de' corpi come si credette altra volta, ma sia un movimento, la sola via ragionevole di concepirla, è quella di dire che le particelle dell'ossigene e del carbonio o altri corpi benchè congiunte strettissimamente, vengono però separate dalle vibrazioni che in esse desta la luce. Questa accrescendo fino a un certo punto la velocità e l'escursione loro, le sforza ad uscire dalla sfera di azione ove stavano e rende loro la libertà, o in tutto, come fa coll'ossigene che si sprigiona dalla pianta in istato di gas, o in parte, costituendo cogl'altri elementi dei composti meno compatti e perciò facilmente disgregabili e separabili. Così può concepirsi l'analisi. Nè più difficilmente la sintesi, perchè dall'azione della luce venendo esagerate le oscillazioni moleculari e loro vibrazioni, ne può nascere che una molecola riesca ad entrare nella sfera d'azione dell'altra, e così possano chiudersi in una sfera comune restandovi permanentemente imprigionate, nel qual atto dovranno svolgere calorico secondo la legge generale enunciata altrove (C. I. §. 14), e produrre momentanee esplosioni, come fa il cloro coll' idrogeno (1).

Abbiamo parlato delle *sfere* di *azione* e dei *limiti delle forze* seguendo il comune linguaggio convenzionale, ma bisogna confessare che la cosa non è divenuta per ciò più accessibile: esporremo fra poco come sia possibile formarci una idea di queste forze senza l'intervento di agenti astratti. Ma pel momento è bene ridurre a termini usuali la questione, per collegare l' esposizione dei fatti. Qualunque del resto sia la maniera di concepire le forze, è evidente che l'azione chimica è ridotta per la luce ad una mera azione meccanica. Fresnel scriveva fin dal suo tempo: « *Si la lumière n'est qu'un certain mode de vibrations d'un fluide universel, comme les phénomènes de la diffraction le demontrent, on ne doit plus supposer que son action chimique sur les*

(1) Rileggasi il passo di Bunsen citato a pag. 113.

corps consiste dans une combinaison de ses molecules avec les leurs , mais dans une action mécanique que les vibrations de ce fluide exercent sur les particules pondérables , et qui les obblige à des nouveaux sistèmes d'equilibre plus stables pour l'espèce ou l'énergie des vibrations aux quelles elles sont exposées (1).

Riunite insieme le radiazioni chimiche e le calorifiche apparisce quale immensa forza viva venga comunicata dal sole alla terra e all'etere in essa compreso. Ora può domandarsi : il raggiamento verso lo spazio restituisce esso tutta questa forza allo spazio stesso? Che chè altri se ne dica, io non trovo punto facile il provare una tale compensazione; anzi attese le ragioni dette poco fa, tanto pel calorico che per l'azione chimica, pare probabile che tal radiazione non compensi che quella parte che a noi non arriva, ma quella che giunge alla terra per la massima parte resta comunicata al globo stesso. Or come avviene che la quantità di forza viva non aumenta nel nostro pianeta indefinitàmente? Il lettore troverà più tardi una congettura per rispondere a questo quesito. Quì ci limiteremo a dire che le radiazioni solari sono l'origine principale della forza meccanica sul globo, e ciò non solo nella parte termica colla semplice dilatazione, ma anche nella chimica e perfino nella fisiologica, essendo l'azione del sole quella che prepara le piante, e con esse il nutrimento agli animali, i quali bruciandole nel loro interno come in un focolare, dal calorico reso disponibile traggono la potenza motrice delle lor macchine (2). Talchè non senza verità potè dire il Divino Poeta:

(1) Fresnel *suppl. cit. ibid.*

(2) L'immensa provvisione di energia, dice Bunsen, che la Natura ha raccolto nel corpo del sole scorre coll' inesauribile corrente de'raggi solari per tutto l'Universo; e il lavoro speso sulla terra a conservare la creazione animale e vegetale, non che in molte azioni geologiche, è derivato quasi esclusivamente da questa sorgente. *Mem. cit.* del 1859.

Guarda il calor del sol che si fa vino
Giunto all'umor che dalla vite cola.
(Dante Purgat. XXVI. 79).

Non già perchè questi prodotti siano un misto di luce e altre sostanze, ma perchè la forza meccanica del raggio solare resta immagazzinata nel prodotto del vegetale. Il modo con cui ciò avvenga è ancora occulto, ma il fatto non è perciò men certo, e sempre più ci si rivela l'infinita sapienza del Creatore, che collocando nel centro di un sistema una massa luminosa e incandescente, provvide non meno alla conservazione del moto dei pianeti circostanti nello spazio colla gravità, che alla durata della vita sui medesimi colle radiazioni.

A noi non è dato ancora di sollevare il velo che copre il mistero della rigenerazione della materia mediante l'azione solare, nè di conoscere la struttura intima de'corpi. Tuttavia non ci sarà disdetto proporre su di ciò una *congettura* che discende spontanea da quanto si è detto finora, e completare qui i cenni dati su di ciò nel capo precedente §. 7.

Ammessa l'esistenza dell'etere, come ce ne autorizzano i fatti finora esposti, dobbiamo anche ammettere che le molecole ponderabili sieno in esso distribuite a distanze assai grandi relativamente ai loro volumi, benchè non sia mestieri supporle lontane nella proporzione che sono tra loro i pianeti, come diceva Laplace, per le ragioni esposte altrove (1). Ciascuna di queste molecole ponderabili essendo dotata di un moto di rotazione, nè dovendo esser supposte perfettamente sferiche, necessariamente si formerà attorno ad ognuna uno spazio in cui l'etere circostante avrà una minore densità, essendo i suoi atomi lanciati lontano dalla forza centrifuga della molecola in rotazione. Quindi si avrà anche un aumento di pressione alla circonferenza colla quale si

(1) V. Cap. I. parag. 10 pag. 71.

farà contrasto alla pressione del mezzo circostante. Se l'etere venisse strascinato in giro dalla molecola, come accade comunemente nei moti rotatorii dei solidi immersi nei fluidi, avremmo realmente un vortice etereo attorno a ciascuna molecola, ma in generale non è necessario supporre tale circolazione. Però la dilatazione è effetto indispensabile della rotazione moleculare. Tuttavia noi per brevità chiameremo *vortice* (giri esso o no) la sfera dilatata che circonda la molecola. L'asse di questi vortici, quando vi sia girazione, sarà o fisso o variabile in direzione, secondo che la molecola centrale avrà asse di rotazione stabile o instabile. (V. pag. 46). Sarà natural conseguenza che in un mezzo così costituito i vorticetti, per le forze centrifughe, abbiano una tendenza ad allontanarsi finchè sono a certa distanza, ma se vengano spinti l'uno contro l'altro oltre certo termine di distanza de'centri, la diminuzione di pressione che è nel loro interno non essendo compensata dalle forze centrifughe, potranno essi riunirsi e dare orgine a un vortice unico, come vediamo accadere tuttodì nei vortici generati nell'acqua. In tale ipotesi è manifesto che anche molti vortici minori potranno restare involti in un vortice maggiore e viaggiare insieme di conserva come uno solo. A questo modo può concepirsi che i vortici isolati appartengano alle molecole de'corpi semplici, i multipli a quelle de'corpi composti.

Quando due molecole circondate dai loro vortici si accostano per le velocità da cui sono animate, può darsi il caso che queste non arrivino a toccarsi, essendo allontanate prima del contatto per l'azione delle forze centrifughe dell'etere circostante, ma il più delle volte avverrà che questa forza non basti a impedire l'urto, e in tal caso i vortici dovranno compenetrarsi, e se la forza di proiezione che anima le molecole centrali non sia sufficientemente grande, che basti a ricacciarle fuori, dopo l'urto essi dovranno restare così uniti in un sol vortice; ma se sia assai grande,

giunte le molecole centrali a contatto, rimbalzeranno per le loro rotazioni e continueranno la loro via, uscendo ciascuna nuovamente dalla sfera o dal vortice dell'altra. I corpi gassosi sono quelli che avendo enorme velocità di proiezione come si disse nel capo precedente, o soffrono un allontanamento delle molecole prima del contatto, o almeno dopo d'essersi compenetrati i vortici per un istante, possono separarsi di nuovo e viaggiare isolatamente. I solidi invece sono quelli in cui le molecole arrivate che siano al contatto reciproco nel momento dell'urto, una non ha poscia più forza sufficiente per uscire dal vortice che circonda l'altra, onde esse restano così rinchiuse in un vortice comune, per lo più con orientazione costante. Ciò però non richiede che le molecole centrali restino rigorosamente a contatto, potendo ciascuna di esse stare separata dall'altra per un minore intervallo, rimanendo circondata da un vortice minore entro il maggiore. I corpi liquidi sono quelli in cui sono distrutte le orientazioni de'vortici, e le molecole sono a tal distanza che la pressione delle forze centrifughe e le forze di proiezione calorifiche compensino la minor pressione che è nell'interno del vortice stesso. A tal limite la forza principale residua è la gravità, alla quale essi cedono livellandosi, senza che la coesione sia del tutto vinta.

Giova qui ricordare quanto si disse al cap. I, cioè che quando un solido passa a stato liquido deve farsi un doppio lavoro; 1.° disorientare gli atomi: 2.° dilatarli. Questo doppio lavoro può meglio intendersi adesso, perchè è chiaro che l'azione dell'etere deve assai contribuire a stabilire tale orientazione. Il lavoro della dilatazione sembra mancare nei corpi che come il ghiaccio fondendosi si restringono; ma realmente ciò non è che apparente; se la dilatazione non ha luogo nelle masse grandi, nelle piccole però non manca mai: le molecole integranti cristalline nell'atto di disfarsi disorientandosi, almeno in certe direzioni devono allontanarsi, perchè nei solidi le distanze delle molecole non sono le stesse

in tutte le direzioni , mentre lo sono nei liquidi : quindi resta a vedere se dopo aver distribuite tutte le molecole ad eguale distanza, il volume complessivo resta maggiore o minore : nel primo caso il solido si dilaterà fondendosi, nel secondo si restringerà. Così resta sciolta la difficoltà proposta da alcuni, che ogni fusione dovrebbe portare dilatazione atteso l'assorbimento di calorico che ha luogo. Ma anche senza la dilatazione, abbiamo due lavori che assorbono forza, cioè la disorientazione delle molecole e la distribuzione dell' etere in modo uniforme attorno a ciascuna di esse, da cui dipende lo stato liquido.

In questa ipotesi la forza che tiene unite le molecole dei corpi solidi deriverebbe unicamente dalla pressione esterna dell'etere circostante che agisce continuamente per ristabilire l'equilibrio che si trova diminuito nell'interno di essi per l'azione rotatoria de'centri ponderabili; e si verificherebbe così quello che diceva Galileo , che la tenacità de' corpi era la misura della resistenza che oppongono le loro parti a lasciare un vacuo. Ben inteso che quì non si tratta più del vacuo d'aria , ma dell' etere circostante. Quelle che diconsi comunemente *sfere di attrazione* o di *forze* non sarebbero che le sfere o meglio gl'intervalli in cui l'etere si trova così dilatato, e siccome tale dilatazione non può sussistere molto forte attorno a ciascuna molecola, che in uno strato sottilissimo (riguardo alle nostre ordinarie misure), quindi tale sfera d' azione deve esser di raggio piccolissimo.

Non tutte le molecole de' corpi ponderabili aver devono forma, e dimensioni eguali, donde ne nasceranno delle diversità nei vortici che le circondano, che non in tutte aver potranno velocità pari di rotazione o massa pari, e da ciò potranno dipendere le diverse qualità delle sostanze, e le svariate loro proprietà fisiche e chimiche. È ragionevole supporre anche gli atomi dell'etere in moto rotatorio da cui dipenda la loro elasticità, ma essendo essi tutti eguali in volume e massa, e forse essendo sferici, non vi è ragione perchè

costituiscansi vortici attorno ad uno di essi a preferenza dell'altro e perciò il mezzo formato di semplici atomi eterei resterà omogeneo. Segue però da questa ipotesi che dovunque è una riunione di massa ponderabile avrà luogo una rarefazione dell' etere nell'interno del corpo, e anche all'intorno di esso, fino a certa distanza, la quale rarefazione decrescerà rapidissimamente alla superficie de'corpi, restando soltanto a grande distanza una pressione minore derivata dall'azione dell'etere stesso, della quale torneremo a parlare altrove.

Non è difficile dietro tale ipotesi intendere le azioni chimiche, poichè le combinazioni si possono spiegare colla semplice riunione in uno solo di due di questi vortici che si trovano essere *originariamente di estensione e velocità differenti*, onde l'affinità chimica viene ad essere una forza che in origine non differisce da quella che dicesi affinità omogenea. E questa è appunto la conseguenza a cui tutta la scienza ci viene ogni dì più conducendo. La facilità di tale riunione deve esser tanto maggiore quanto più sono diverse le grandezze e le potenze dei vortici stessi, perchè più facilmente un vortice maggiore assorbe uno minore di quello che si confondano in uno due vortici eguali, non essendovi in tal caso ragione sufficiente perchè prevalga uno a preferenza dell' altro. Quindi la celerità ed energia della combinazione chimica dipenderebbe da questa grandezza relativa, e facilmente così potrebbe darsi ragione della scala delle affinità che ci mostra l'esperienza. In tale compenetrazione di vortici aventi dimensioni diverse deve necessariamente aver luogo uno squilibrio nella quantità dell'etere costituente le atmosfere di ciascuna molecola, e potrà accadere che la somma dell'etere che forma le due atmosfere o vortici concorrenti sia diversa da quella che deve costituire l'atmosfera o vortice dell'unica molecola risultante. Di qui potranno nascerne dei fenomeni di altro ordine che a suo luogo discuteremo.

Applicando questa teorica alle azioni chimiche prodotte dalla luce, è facile vedere che l'effetto delle vibrazioni luminose in un mezzo così formato deve esser doppio: cioè disgregare alcuni gruppi e formarne degli altri. Infatti l'effetto principale e diretto deve esser quello di aumentare la forza viva delle molecole ponderabili colle loro ripetute oscillazioni. Ora aumentata che sia questa sino a certo punto avverrà che esse siano spinte fuori del vortice comune in cui stanno racchiuse, e così si ricostituiscano i vortici parziali liberi. Questo accadrà pei successivi e regolati impulsi dati dalle onde alle molecole, i quali benchè minimi pure ripetuti trilioni di volte in un secondo di tempo e con andamento ritmico, possono mettere in oscillazione veemente grandi masse, come vediamo accadere tuttodì nei fatti più volgari. La luce è quindi eminentemente una forza disgregativa e per questa via può produrre le analisi chimiche nel qual lavoro la forza viva dell'etere deve rimanere estinta o meglio comunicata alla materia pesante, ossia il moto dell'etere sarà a questa comunicato, giacchè ogni lavoro non è in fine che una comunicazione di movimento vincendo le resistenze opposte.

Ma la luce potrà ancora produrre indirettamente delle sintesi: primieramente disgregando uno de'componenti posto in presenza di un altro, e così rendendo gli elementi del primo atti alla combinazione con un terzo corpo presente; la qual cosa a rigore può accadere anche tra i corpi finora indecomposti se essi non sono realmente *semplici*. E tale è forse il caso della combinazione che essa promuove dell'idrogeno col cloro, giacchè vi è tutta probabilità che questo ultimo sia corpo composto. Che se ciò non si volesse accettare, diremo che la luce può in secondo luogo promuovere delle sintesi animando la forza viva di uno o di ambedue i componenti, onde venendo a collidersi con maggior forza e più intimamente, non possano più liberamente uscire uno dalla sfera o vortice dell'altro. Anche tale

riunione può esser facilitata grandemente dal moto vibratorio comunicato a tutto il mezzo, poichè è fatto ovvio anche in meccanica comune, che una quantità di moto insufficiente a produrre un effetto in un mezzo in quiete, lo può produrre in un mezzo agitato, unendosi allora due quantità di moto, come appunto in un mare agitato gli urti di due bastimenti sono sempre più violenti che in mare tranquillo.

Non è possibile dire nei casi speciali come le cose avvengano, essendo gli atomi e i loro movimenti impercettibili ai nostri sensi, ma non potrebbe negarsi la ragionevolezza di tali supposizioni, tanto più che vediamo anche nei moti vibratorii de'corpi ponderabili accadere certi fenomeni che hanno qualche somiglianza colle attrazioni e disgregamenti, talchè non possono mancare degli analoghi nell'etere. Così p. es. le polveri fine si accumulano in mezzo ai ventri delle lamine vibranti, e ivi restano ferme malgrado la forza di proiezione che ricevono, ritenutevi unicamente dall'azione vorticosa dell'aria. Così un corpo leggero come un pezzettino di carta sospeso a un filo è attratto e resta aderente ad una campana vibrante. Per ciò che spetta le disgregazioni prodotte dai tremiti sonori è notissimo il fatto del rompersi un bicchiere di vetro se spingasi troppo oltre la sua vibrazione con un suono troppo intenso unisono al suo.

Riserbando ad altro luogo il discutere più pienamente e di proposito questa ipotesi, non possiamo a meno di non toccare due difficoltà che vi si possono opporre. La prima è come tali moti rotatorii e vorticosi nell' etere possano sussistere senza estinguersi. Infatti dovrà accadere per l' inerzia già provata dell' etere che dovendo la molecola viaggiante comunicare la sua forza di proiezione continuamente a nuovo etere, questa verrà presto ad estinguersi, onde se tali moti potevano ammettersi persistenti in uno spazio libero (come nel capo I°) non sembra più potersi ciò ammettere quando abbiano luogo in un mezzo inerte e resistente.

La difficoltà è vistosa, e in fondo è quella che opponeva Newton ai moti planetarii, perchè vale la stessa ragione pei corpi grandi e per le molecole. Ma riserbando ad altro luogo ciò che spetta gli astri, e limitandoci qui ai fenomeni molecolari, diremo che la difficoltà è basata in parte su di un falso supposto, che cioè tali movimenti si debbano conservare indefinitamente quando si considerano in una massa particolare: perchè se una massa finita si prendesse separatamente dovesse comunicare essa sola il suo movimento a tutta la massa dell'etere, presto il suo moto diverrebbe insensibile. Ma in atto pratico gli atomi e i loro gruppi particolari ricevono dagli altri tutti rinforzo e compenso dalle perdite fatte, e abbiamo testè veduto che il sole benchè lontano 90 milioni di miglia è incaricato dalla Provvidenza di ristaurare le quantità di forza viva perdute dall'acido carbonico nella combustione, per poter servire di nuovo ad altre operazioni. La conservazione del moto o della energia è per noi un principio empiricamente dimostrato, ma si deve cercare la sua persistenza come fu detto più volte non nelle masse limitate, ma nel tutto della creazione.

In quanto poi spetta alla conservazione dei vortici attorno alle singole molecole la cosa merita un' ulteriore discussione. A dir vero questo genere di fenomeni anche nella meccanica ordinaria ha qualche difficoltà a intendersi ma non per questo sono men certi. Noi vediamo tali vortici non solo nei corsi d'acqua propagarsi a immensa distanza, ma anche nell'aria, in cui non solo le trombe marine, ma anche leggerissimi vortici viaggiano miglia e miglia senza guastarsi (1). In tale propagazione non sembra potersi affatto

(1) Stando io un giorno sulla via Appia alla misura della base comparve dal lato di mare una esilissima colonna verticale del diametro di circa 2 metri, visibile per la linea di polvere che avea nel centro. Questa attraversò la strada al luogo ove eravamo

supporre che sia la stessa la massa d'aria che circola sempre attorno a se stessa e va simultaneamete camminando, ma deve ammettersi che il moto vorticoso si comunichi da strató a strato, come si communica il moto ondoso, onde in questa trasmissione di movimento entrano in giuoco le forze che reggono il fluido siano esse la gravità o l'elasticità. Se le cose non passassero così, non si capisce come una tromba di mare potrebbe seguitare per centinaia di miglia del suo viaggio a versare torrenti di pioggia, mentre la sua massa d'aria presto nella prima scarica si esaurirebbe di tutta l'acqua che tiene sospesa in istato di vapore. Il vortice dunque che viaggia mutar deve continuamente di materia, e può riguardarsi come *un'onda* che si propaga, colla differenza però che nell'onda propriamente detta l'escursione delle molecole è unicamente il passo della semionda, mentre nel vortice vi è congiunta una certa componente di traslazione, ma che non è però eguale alla velocità del vortice (1). Con questo principio ci pare poter dar ragione di molti fatti meccanici della propagazione vorticosa in modo più completo che non si è fatto finora, coll' aver supposto che il vortice o viaggiasse trasportato meramente colla corrente, ovvero si mantenesse solo al limite di due opposte correnti.

Da ciò è evidente che per l' elasticità del mezzo (qualunque sia del resto l' origine di questa elasticità) il moto vorticoso per conservarsi non esigerà nuova forza, come non l'esige il moto ondulatorio, ma che generato una volta si conserverà finchè non venga sensibilmente estinto dalla maggior massa a cui mano a mano si comunica, per-

noi e camminò finchè si perdette dietro un monte a distanza di 6 chilometri almeno. L' aria era tranquilla affatto e non vi erano correnti opposte che sorreggessero tal vortice.

(1) Nell' onda *solitaria* il moto delle molecole è realmente un moto vorticoso ad asse orizzontale.

chè vediamo che tutti i vortici progredendo crescono in diametro e diminuiscono in celerità (1).

Applicando tali principii all' etere è manifesto che la forza stessa di elatere (2) che propaga le onde può propagare anche queste atmosfere o vortici, e che essi formati una volta da impulso estraneo, non esigeranno per esser mantenuti in circolazione nessuna novella forza viva che sia loro comunicata dalle molecole centrali, le quali serviranno loro soltanto di asse a guidarli sulla linea di traslazione.

La seconda difficoltà è di maggior peso. È una conseguenza della proposta ipotesi che l'etere sia più raro nell' interno de' corpi ponderabili che non nel vacuo: ora ciò sembra decisamente opposto a quanto si crede comunemente, ritenendosi che vi sia più denso. A questa difficoltà potrebbe facilmente rispondersi dicendo, che non tutti i teorici sono sopra questo d'accordo. Il sig. Lamè è arrivato coll'analisi alla medesima conclusione nostra, che cioè l'etere è più raro nei corpi più rifrangenti, e che la materia esercita sull' etere un azione ripulsiva (3), la quale potrebbe in fine non esser altro che la forza di proiezione e la forza centrifuga delle rotazioni. Cauchy pure è arrivato alla stessa con-

(1) Comunemente si crede che i vortici siano trasportati dal moto generale della corrente, ma è manifesto che pel principio con cui si propagano le onde i vortici possono propagarsi anche senza questo. I cicloni nei mari australi camminano contro i venti inferiori.

(2) Noi intendiamo quì la parola elasticità nel suo senso più vasto, cioè il complesso di tutte le forze che agendo continuamente su di una massa tendano a ristabilire l'equilibrio momentaneamente turbato. (*V. Lamè Théorie mathematique de l'elasticité. Paris*).

(3) Lamè *Journal de l' école polytéchnique* Tom. XIV Cah. 23. pag. 269. « Ainsi la densité moyenne de l' ether dans les corps diaphanes est moindre que celle du même fluide dans le vide, et l' action que la matière ponderable exerce sur l' ether est repulsive „ (*Mem. sur les lois d' equilibre du fluide éthéré § VI.*)

seguenza sulla forza repulsiva. Briot ammette nell' etere una forza repulsiva operante in ragione inversa delle seste potenze, ma poi crede che vi sia attrazione dell' etere nella materia ponderabile, però non si pronunzia sul punto della densità (1), onde la difficoltà non sarebbe dal lato nostro, ma sarebbe da correggere l' opinione adottata finora dai fisici. Ma per non imporre colla semplice autorità esaminiamo i fatti.

I fisici sono stati condotti ad ammettere che l'etere sia più denso nell' interno dei corpi da due ragioni: la prima perchè si è ammessa una certa attrazione e condensazione del l'etere attorno le molecole della materia, la quale attrazione o condensazione non ha ricevuto finora dimostrazione concludente; anzi i lavori di varii analisti vi sono in opposizione e piuttosto come dicemmo conducono a una ripulsione. La seconda è stata che così si poteva spiegare assai bene la diminuzione di velocità della luce, quando passa pei mezzi rifrangenti, perchè (1°) essendo questa espressa dalla radice quadrata del rapporto dell' elasticità e della densità, $V = \sqrt{\frac{e}{d}}$ col supporre maggiore la densità veniva a diminuirsi la velocità. Ma questa ragione poco conclude, perchè (2°) è evidente che V può diminuire semplicemente diminuendo e, e restando costante d; ovvero (3°) variando ambedue, ma in modo che e diminuisca in ragione più rapida, il che viene a dire che non si verifichi per l'etere nell' interno di corpi la legge di Mariotte come nei gas. E ciò non deve parer strano perchè sappiamo che anche pel suono la formola suddetta non è sufficiente, ed è mestieri tener conto del calorico che si svolge nell' aria dalle vibrazioni. Anzi le considerazioni della doppia re-

(1) Briot *Comptes rendus* tom. LVII. p. 868.

frazione comunemente persuadono ai fisici di far dipendere la velocità di propagazione piuttosto dalla elasticità che dalla densità, onde dice giustamente Herschel (1) « noi non « abbiamo altra misura dell' elasticità di un mezzo che la « velocità de'raggi che l'attraversano. » Talchè sarebbe mestieri ricorrere a fatti d'altra categoria per sapere quale delle tre interpretazioni della formola sia la vera. Nella teoria della doppia rifrazione si ammette che l'elasticità sia minore nella direzione in cui la materia ponderabile è più condensata, come è secondo l'asse di cristallizzazione principale o l'asse di compressione « L' elasticità dell' etere « nel vetro compresso, dice il citato autore (pag. 206 « n° 1089) si deve supporre minore nella direzione della « forza comprimente e maggiore nella perpendicolare ». Onde siccome in questi casi in cui pure si potrebbe attribuire tutto alla densità maggiore, si preferisce di attribuirlo alla elasticità, altrettanto dovrebbe farsi nei corpi di densità uniforme e dotati di semplice rifrazione. Quindi pare più ovvio e ragionevole l'ammettere che tanto l'elasticità che la densità dell'etere diminuiscano nell' interno de' corpi, ma la prima in proporzione più rapida della seconda.

Ciò sarà anche più agevole ad intendere se considereremo che l' elasticità nella sua nozione più completa non dice solamente quella proprietà che avrebbero gli atomi dell' etere a ricuperare la loro forma (come intendesi nella supposizione di Ugenio), ma essa indica in genere tutto il complesso delle forze che agiscono sulla massa fluida, siano esse intrinseche alle particelle, o siano estrinseche. Ecco a proposito di ciò la difinizione che ne dà Lamè (2).

« Quando le molecole della materia costituiscono un « corpo o un mezzo limitato o indefinito, le cause che han-

(1) Traité de la lumière T. II. pag. 182.

(2) Lamè. *Théorie mathem. ec.* Paris 1852. p. 1.

« no assegnato a queste molecole le loro posizioni relative « sono in certo modo persistenti, ossia operano continua- « mente ; per il chè se qualche sforzo esterno cambia un « poco e momentaneamente queste posizioni, le medesime « cause tendono a ricondurre le molecole ai loro posti « primitivi. È questa tendenza o azione continua che si « indica col nome di elasticità. » Essa quindi non dipende unicamente da quelle che finora si sono dette attrazioni o ripulsioni molecolari : tale definizione nulla involge di tali supposizioni, e può estendersi a dei casi in cui le azioni moleculari non sono la causa principale, talchè anche le ondulazioni dell'acqua stagnante per forza di gravità entrano in questa definizione generale.

Le forze pertanto che sollecitano l'etere nell'interno de' corpi essendo di genere affatto diverso da quelle dell'etere libero nel vuoto, è manifesto che il coefficiente $\frac{e}{d}$ deve avere tutt'altro valore e non è ragionevole attribuire a preferenza a uno dei suoi termini un valore costante.

I fatti principali che determinarono Fresnel ad ammettere che l'etere fosse più denso nei corpi rifrangenti furono quelli relativi alla intensità della luce polarizzata riflessa e rifratta dai corpi diafani, che verificarono assai bene le formole stabilite in quella ipotesi. Ma Mac Cullagh e Neuman fecero vedere che si arriva alle stesse formole supponendo egualmente denso l'etere, ma solo diversamente elastico; nel qual caso però è mestieri supporre che i moti de' raggi polarizzati si facciano in modo diverso da quello che supponeva Fresnel. Ma Cauchy, senza fondarsi su veruna ipotesi particolare in ordine alla densità relativa del mezzo, ma solo sulla differenza delle velocità, ha dedotto dalla teoria analitica delle formole generali complete, le quali contengono quelle di Fresnel come casi particolari, e ha rilevato fenomeni nuovi che a quel gran fisico erano sfuggiti, e che l'esperienza oggidì ha confer-

mato (1). Talchè non possono più le dette formole di Fresnel allegarsi a prova di nessuna teoria.

Alcuni fisioi, e fra gli altri Eulero, hanno creduto che nell' interno dei corpi la luce si potesse propagare mediante la materia ponderabile stessa; ma la rapidità inconcepibile con cui essa viaggia nel loro interno, che supera di molti milioni quella de' suoni più acuti, sembra esser tanta che la sua elasticità non vi si possa prestare. Anzi il Lamè crede provarsi ciò impossibile coll' analisi (2), onde conclude che oltre la materia ponderabile « deve ammettersi « nell'interno dei corpi un'altra specie di materia che sia « il vero mezzo vibrante sotto l' influenza della luce, men- « tre la materia ponderabile non fa che una parte pura- « mente passiva modificando per una specie di resistenza le « direzioni delle vibrazioni, e le velocità di propagazione « nelle diverse direzioni ». Secondo lui le molecole della materia ponderabile sarebbero come galleggianti nell' etere e parteciperebbero ai movimenti dell'etere stesso in quella guisa che un sistema di piccoli galleggianti alla superficie dell' acqua partecipa alle ondulazioni che si formano nella massa in cui nuotano. Secondo Briot non si può affatto supporre che le molecole ponderabili restino ferme durante il passaggio dell' onda, ma esse partecipano al suo moto, e la loro presenza produce un ritardo nell' onda che costituisce la dispersione.

Che la luce non si propaghi punto per la sostanza stessa del corpo pesante può dimostrarsi dai bei lavori di Fizeau relativi all' influenza del movimento de' corpi sulla velocità della luce. Infatti se la luce si propagasse per la sostanza pesante, la sua velocità dovrebbe essere aumentata o diminuita di tutta quella che è propria del mezzo pesante stesso quando questo è in moto. Ora si trova che ciò non accade, ma

(1) Cauchy *Exercices d'analyse et Phys. mat.* T. 1. V. *Comptes Rendus* T. LXII. pag. 868.

(2) Lamè Op. cit. pag. 327 n. 129 e 30.

che solo una porzione di essa velocità entra a parte del moto della luce. Questa porzione è espressa da ciò che dicesi in ottica *potere refrangente* di una sostanza, ed è dipendente dalla diversa velocità della luce nel vuoto e nel mezzo Fizeau facendo passare la luce attraverso due colonne d' acqua dotate di una velocità di $7^{m.}$ per secondo trovò nell'interferenza de' raggi lo spostamento di $\frac{1}{4}$ di frangia, cioè quanto portava unicamente il suindicato valore. Questo esperimento è stato allegato come prova della maggior densità dell' etere nei mezzi più rifrangenti, ma sembra potersi da esso unicamente concludere che non si osserva altra influenza che quella che dipende dalla porzione di materia pesante che tiene il luogo dell' etere, o che forma al più i vortici o le sfere dilatate attorno le molecole. Talchè i corpi comuni attraversano l'etere come una rete attraversa l'aria, trasportandone una porzione, mentre l' altra passa liberamente per le maglie. La porzione trasportata potrà influire sulla velocità della luce , come il vento contribuisce alla velocità del suono.

Che l' etere poi non sia uniformemente distribuito nell' interno delle sostanze pesanti , si rileva manifestamente dal fenomeno della dispersione. Infatti secondo le leggi della propagazione del moto vibratorio in un mezzo uniforme le onde lunghe e le corte devono propagarsi con eguale celerità, il che (almeno entro certi limiti di intensità) si verifica pel suono e per la luce negli spazi stellari. Ma il contrario avviene nell' interno de' corpi rifrangenti: in essi le onde più corte sono più rallentate, il che produce la dispersione prismatica. Questo fenomeno che ha fatto per un gran pezzo una capitale difficoltà al sistema delle onde , dal Cauchy è stato appunto spiegato prendendo in considerazione la non perfetta omogeneità del mezzo interno de' corpi ponderabili. Briot e Lamè sono giunti dal canto loro a simile conseguenza e han concluso che quando un mezzo

sia costituito come i corpi pesanti di centri aventi un'atmosfera di diversa densità, i coefficienti delle equazioni differenziali che determinano la velocità dell' onda non sono più costanti ma variabili e quindi dipendenti dalla lunghezza dell' onda, donde ne nasce un ritardo costante e inoltre un ritardo in ragione inversa del quadrato della lunghezza dell' onda, che produce il potere dispersivo (1).

Senza entrare nelle ragioni dell' analisi, è manifesto che per piccola che voglia ammettersi l' oscillazione molecolare essa non è mai trascurabile rapporto alla lunghezza dell' onda, e al raggio della sfera di densità variabile che circonda ogni molecola ponderabile, benchè ancor esso debba esser piccolissimo. Di qui è che le molecole eteree son costrette nell' interno de' corpi ad oscillare in un mezzo che realmente è eterogeneo. Da questo ne seguirà che l' influenza di tale eterogeneità sarà più sensibile nelle onde più corte che sono costrette a subire maggior numero di tali alternative. E ad appoggio di questa spiegazione potrebbe forse recarsi il seguente fatto da noi accennato altrove. È dimostrato dall' osservazione e dalla teorica che le onde dei fluidi pesanti, come l' acqua, nella loro velocità non sono indipendenti dal fondo, ma che all' alzarsi di questo sono più ritardate. Ciò che fa in queste onde la depressione del fondo lo potrà fare la presenza delle molecole ponderabili nell' interno dei corpi.

Dall'esposto in questo articolo risulta un intimo legame tra i fenomeni delle radiazioni e la costituzione moleculare de' corpi; la teoria meccanica del calore riceve il suo complemento, e le forze moleculari e chimiche si mostrano di un' origine comune, e unicamente dipendenti dalle azioni meccaniche dell' etere stesso. Se ad alcuno sembreranno ardite le nostre ipotesi gli diremo che siamo prontissimi ad abbandonarle ove ci si offra di meglio. Ma lo preghiamo

(1) Briot *Comptes Rendus* loc. c.

a sospendere la sentenza fino ad avere esaminato i fatti che restano. Qui non potremmo estenderci di vantaggio senza entrare a parlare di quegli effetti che costituiscono fenomeni d'altro ordine, e che tratteremo nei capi seguenti.

Esposti così i punti fondamentali del sistema della luce passiamo brevemente in rassegna alcuni fatti subalterni che però non sono meno importanti per conoscere la natura dell'etere, e che ci daranno maggior lume a comprendere gli stessi fatti fondamentali.

§. 7.

Di alcune proprietà del moto ondulatorio dell' etere nei mezzi uniformi: polarizzazione della luce.

Quanto è facile lo stabilire in genere che il moto della luce si fa per ondulazioni, altrettanto è difficile definire e riconoscere tutte le affezioni di cui questo moto nell'etere è suscettibile. Ciò nasce da due cagioni. La prima è che le proprietà dei moti oscillatorii sono poco conosciute anche pei fluidi ponderabili, talchè se non avessimo la quotidiana esperienza che ci assiste a rilevarne le particolarità, i risultati del calcolo sarebbero forse insufficienti a darcene una idea. La seconda, che essendoci ignota la costituzione fisica dell'etere e le forze da cui è governato, non possiamo da queste argomentare le proprietà del moto, ma viceversa siamo costretti a dedurre dalle affezioni del moto stesso la natura del mezzo. Noi non possiamo, nè è scopo di quest'opera, lo schiarire tali difficoltà, che sono in gran parte accessorie al nostro soggetto, ma dobbiamo toccare alcuni punti che si legano strettamente colla costituzione della materia e che ci serviranno appresso.

Si hanno nella meccanica ordinaria due specie di moti oscillatorii nei mezzi fluidi continui: alcuni sono con va-

riazione di densità nella massa e procedono per vibrazioni longitudinali, o come diconsi parallele al raggio, e tali sono le vibrazioni del suono nell'aria e nell'acqua; altri si fanno senza variazione di densità e i moti sono trasversali, ossia perpendicolari al raggio: tali sono i moti con cui si propagano le onde nell'acqua stagnante per l'influenza della gravità. Si vede da questo caso che il medesimo fluido può propagare amendue i movimenti secondo le forze che sono messe in giuoco. Cercando in quale delle due specie di movimenti consistano quelli della luce si riconobbero esser della seconda specie, e a ciò condussero i fenomeni stessi pei quali Newton avea immaginato lati o poli nei raggi per cui ricevettero nome di *polarizzazione*.

Questi fenomeni scoperti da Ugenio nei raggi trasmessi pel carbonato di calce o spato d'Islanda, furono poscia estesi da Malus alla riflessione e rifrazione ordinaria, e sarà bene riassumerli brevemente. Se un raggio naturale di sole si faccia penetrare in una camera oscura e attraversare un cristallo di spato esso si dividerà in due che all'occhio sembrano perfettamente uguali: ma se si presenti a questi due raggi uno specchio di vetro non stagnato, inclinato alla lor direzione di 36.° (contando dalla superficie), si vedrà che essi in generale sono inegualmente riflessi, e in una certa posizione uno solo è il riflesso, e l'altro non lo è affatto: seguitando a girare lo specchio attorno al raggio, conservando però la stessa inclinazione, arriva un altro punto in cui si riflette il raggio che prima passava e non quello che prima era riflesso. Le posizioni in cui i due raggi cessano di riflettersi sono rettangolari tra di loro. Confrontando la luce trasmessa si trova che essa ha variazioni di intensità complementarie alla riflessa. Così si troverà che ciascuno dei due raggi isolati riflessi o rifratti, passano alternativamente per massimi e minimi di intensità ad ogni quadrante della circonferenza; e che tanto i massimi quanto i minimi sono diametralmente opposti tra di loro.

Se uno di questi due raggi si faccia separatamente passare attraverso un secondo romboide di spato, si dividerà generalmente in due raggi d'intensità ineguale, e girando il 2°. romboide si troverà che ciascuno di essi passa alternativamente ad ogni quadrante per un massimo di luce e per l'estinzione completa e che solo nella posizione intermedia le due immagini sono eguali. Se si trasmettono simultaneamente per un secondo romboide i due raggi usciti dal primo, si avranno in ciascuno le fasi testè descritte, ma raddoppiate, talchè in alcune posizioni si avranno quattro immagini e in altre due sole.

Questi fenomeni non hanno origine solo dall'azione dei cristalli; ma la medesima proprietà trovasi nella luce che è riflessa dal vetro sotto l' incidenza di 36°, o, più generalmente nella luce riflessa dai corpi diafani sotto tal angolo che il raggio incidente sia perpendicolare al rifratto; come può provarsi esaminando nello stesso modo il raggio riflesso da una lamina così inclinata: e similmente si trova averla, più o meno completamente, anche quella che è trasmessa da una o più lastre di vetro parallele inclinate al raggio.

Questi fatti sono tutti di una stessa specie, e mostrano che i raggi così modificati non sono più simmetrici come i raggi naturali, onde si dissero *polarizzati*. Essi si spiegano nel sistema delle onde coll'ammettere che le vibrazioni delle molecole eteree si facciano perpendicolarmente al raggio: e raggi polarizzati sono quelli che hanno tutti i movimenti molecolari orientati in una direzione unica, come una serie di linee parallele, mentre i raggi naturali li hanno disposti in tutti i versi come i raggi di una ruota. Può anche dirsi, che come in acustica le verghe vibranti descrivono ora linee rette ora ellissi, o circoli, o altre curve, così gli atomi dell' etere descrivono nei raggi polarizzati tante linee rette parallelle, mentre nei naturali essi descrivono curve d'ogni specie. Si è saputo però distinguere dalla scienza il caso che le oscillazioni siano ellittiche o circolari, del che diremo a suo luogo.

Che questi fatti provino la transversalità de' moti nell'etere è evidente: infatti se le vibrazioni delle molecole fossero longitudinali, dovrebbe essere indifferente la direzione del piano di riflessione dello specchio rapporto all'asse del fascetto, quando resta costante l'inclinazione della superficie riflettente; ma se sono trasversali deve essere diversamente, perchè nel caso che le oscillazioni siano parallele alla superficie esse saranno facilmente riflesse e non potranno penetrare nel mezzo diafano, ma se siano perpendicolari faranno ciò facilmente. Fresnel applicando alle molecole luminose le leggi della decomposizione dei movimenti della statica ordinaria, potè dar ragione di tutti questi fenomeni di diversa riflessibilità e trasmissione, e spiegare così come la luce polarizzata non si rifletta quando il raggio incidente è perpendicolare al rifratto. Posteriormente il Cauchy riprendendo queste ricerche fondato sull'analisi più generale ha stabilito formole più complete di quelle di Fresnel e che si estendono a fenomeni che erano sfuggiti alla sua sagacia, delle quali già parlammo sopra (pag. 187).

È una conseguenza di tali moti trasversali che quando s'incontrano due raggi polarizzati ad angolo retto le loro vibrazioni non possano distruggersi, ma ne nasca nelle molecole un moto orbitale: quindi non avrà luogo l'interferenza di due raggi polarizzati ad angolo retto quando si sovrappongono, malgrado la differenza di fase di mezz'onda come dovrebbe accadere. Tale conseguenza è stata confermata direttamente dall'osservazione, e di qui si riconobbero i caratteri che distinguono i raggi naturali da quelli che hanno moti orbitali, siano ellittici, siano circolari.

Veniamo ora ad alcune conclusioni generali a cui conducono questi fenomeni.

La prima è che la struttura del mezzo etereo è di tal sorta che essa non è accompagnata da variazione di densità per la propagazione de' moti luminosi. A dir vero noi non abbiamo nessuna prova che i moti siano trasversali nei raggi

naturali, ma si estende ciò ad essi per analogia. Perchè se la natura di un mezzo e le forze che lo sollecitano sono tali che richiedano nel raggio tal genere di propagazione del moto dopo la riflessione o rifrazione, essa deve aver luogo sempre. Il Cauchy ha cercato di stabilire la natura delle forze a cui deve esser soggetto un mezzo per dare origine a vibrazioni di questa specie, ed è arrivato alla conclusione che in due ipotesi possono esse aver luogo. Una è che le molecole siano regolate da forze attrattive operanti in ragione inversa del quadrato delle distanze, l'altra che siano animate da forze ripulsive reciprocamente proporzionali (almeno nelle vicinanze del contatto) al biquadrato delle distanze o superiori alla 4ª potenza. Nella prima ipotesi sarà la velocità proporzionale alla spessezza delle onde piane : nella seconda ne sarà indipendente. Siccome quest' ultimo caso porta seco che non si abbia sensibile dispersione di colori, così questo sembra essere il caso dell' etere libero (1). Ma tali risultati, come dedotti da artifizi analitici solo approssimati, possono avere delle eccezioni, e quindi non vi insisteremo sopra gran fatto.

L' esistenza delle vibrazioni trasversali però è un fatto irrecusabile, e solo resta a darne ragione dietro la costituzione del mezzo in cui ciò avviene, in modo che sia intelligibile anche a chi non può penetrare nei misteri dell' analisi. Fresnel fece osservare che generalmente parlando era possibile che l' urto dato all'etere dalla molecola ponderabile vibrante, benchè certamente da principio diretto anche longitudinalmente, presto però si trasformasse in semplice trasversale per la resistenza dell' etere, che fosse di tal natura da lasciare luogo soltanto allo scorrimento laterale delle sue sezioni. Ciò è giusto, ma quel che si cerca è appunto una ragione plausibile di tal genere di moto,

(1) Cauchy: *Exercices d'Analyse et de Phys. Math.* Tom. 1. pag. 289. Briot ora trova che sarebbe la 6ª potenza. (V. sopra).

giacchè le similitudini che si portano per persuaderlo non sono del tutto adequate. Così si sogliono apportare gli esempi di questi moti trasversali nell' acqua, nelle corde e nelle piastre vibranti, ma in questi casi la ragione è evidente, perchè la lor direzione è quella della minor resistenza del mezzo o del solido, mentre all'incontro non si capisce perchè in un mezzo omogeneo come l'etere, la resistenza debba essere minore nella direzione laterale che nella longitudinale. Pensando io più volte a tale difficoltà, mi è venuto in mente una congettura che qui esporrò brevemente, sperando che possa suggerire ad altri delle idee migliori e aiutare a spianare questa difficoltà.

Tutti quelli che han cercato di dare una spiegazione della propagazione de' moti vibratorii nei mezzi elastici senza l' analisi matematica, non si sono dipartiti dall' idea di Ugenio, cioè hanno considerato le molecole dell' etere come se fossero in quiete assoluta e comparabili a globi elastici: finora non so se siasi indagata la legge di propagazione che si avrebbe in un sistema composto tutto di corpuscoli rotanti siano essi privi o no di elasticità propriamente detta. Tuttavia se è lecito giudicare dei fenomeni che accader possono in un tal mezzo da quelli che vediamo in un semplice corpo isolato messo in rotazione, vedremo che non è impossibile che riescano ad aver luogo dei movimenti del genere appunto di quelli di cui cerchiamo la spiegazione.

Sappiamo dalla meccanica che quando un corpo rotante riceve una percussione nel piano dei due assi principali perpendicolari all'asse di rotazione, si genera un nuovo asse spontaneo di rotazione, che generalmente parlando ha per effetto di trasportare il centro di gravità del corpo lateralmente rapporto alla direzione dell' urto. Di questo può ciascuno con facile esperimento persuadersi con percuotere una trottola girante, la quale per lo più schizzerà via lateralmente. Fa a questo proposito l' esperimento del Marianini. Se si metta una trottola sopra un piano orizzontale, e mentre

essa *dorme*, s' inclini il piano da Sud a Nord, la trottola s' incammina da Est a Ovest; e se s' inclini il piano da Est a Ovest la trottola cammina da Sud a Nord. Cioè la forza della nuova componente della gravità fa camminare la trottola in direzione normale alla componente medesima, il che non avviene certamente senza la rotazione.

Che se l'urto non sia diretto nel piano degli assi principali ma perpendicolare o inclinato a questo, in tal caso oltre il movimento obliquo del centro di gravità, ne nasce anche una deviazione dell' asse secondo una regola conosciutissima nella teoria delle rotazioni, che può riassumersi col dire « che l' asse devia ad angolo retto dal piano che passa per la sua posizione precedente e per la direzione dell' urto » (2).

Si cava pertanto da ciò: che se gli atomi dell' etere sono in rotazione; 1.° I moti di traslazione in senso laterale all'urto non solo sono possibili, ma necessarii, e se la velocità di rotazione sia in certa proporzione, potranno riuscire affatto impercettibili i longitudinali. 2.° Che avremo da considerare una seconda specie di movimenti nelle molecole dell'etere, cioè le oscillazioni dei loro assi, le quali facendosi perpendicolarmente alla direzione dell'impulso, contribuiranno potentemente a tale propagazione trasversale. Di questa seconda specie di movimento non si parla comunemente, ma nell'ignoranza in cui siamo sulla natura dell'etere, dovrebbe studiarsi la sua influenza. Anzi parmi che non sarebbe difficile dare per tal mezzo una spiegazione assai semplice dei fenomeni principali della polariz-

(2) Così si spiegano i fenomeni del giroscopio, e per tal ragione nella terra, per l'attrazione del sole e della luna sulla protuberanza equatoriale, invece di inclinarsi il suo asse di rotazione nel piano dell'ecclittica ne devia perpendicolarmente e si muove in un cono, talchè mentre tale perturbazione se la terra fosse ferma gli farebbe fare un' oscillazione in 14 anni, essendo essa in rotazione ne nasce un giro di 25000 anni

zazione; il che sembra condurre all'ipotesi di Fresnel dell' essere i moti oscillatorii perpendicolari al piano di polarizzazione (1). Senza però volere qui nulla innovare sulle idee ricevute, ci basti aver fatto vedere che non è tanta la difficoltà di ammettere tali moti trasversali quanta si crede da taluni e che la natura è ricca in espedienti anche più che noi non sappiamo indovinare.

Dietro quanto si disse nel capo precedente intorno al potersi colle rotazioni supplire all' elasticità, è manifesto che anche nell' etere può farsi a meno di tal forza. Ma qualunque sia l' ipotesi che s' immagina per ispiegare la trasversalità delle vibrazioni, è manifesto che tali fatti suppongono l'etere composto di atomi isolati a cui possano applicarsi le regole della composizione e decomposizione delle forze usate nella statica, e tale è la conseguenza a cui arrivarono tutti i fisici e geometri, e abbiam veduto che Cauchy tentò stabilire un massimo sopra cui le molecole dell'etere non potevano esser più distanti. Il Mossotti dopo aver riportato i ragionamenti di Fresnel, conchiude: « La « costituzione dell' etere in atomi isolati e l' esistenza « delle vibrazioni trasversali sono intimamente legate e « non possono sussistere l' una indipendentemente dall' al-

(1) Infatti se le molecole rotanti urtano il piano riflettente inclinato col loro equatore, esse devieranno coll' asse a destra e a sinistra del piano di riflessione. Similmente queste percosse date da destra a sinistra dentro al mezzo rifrangente produrranno oscillazioni degli assi nel piano stesso della rifrazione, talchè i piani di oscillazione nel raggio riflesso e rifratto saranno perpendicolari tra loro e a quelli che diconsi piani di polarizzazione. Noi accenniamo questo, solo per far vedere che la trasversalità de' moti può sussistere, non pretendiamo però che gli atomi non abbiano moto traslatorio. Ma non potrebbe essere, che le vibrazioni luminose non fossero dovute a traslazioni trasversali, ma a semplici oscillazioni degli atomi eterei attorno ai loro centri di rotazione? Allora cesserebbero tutte le difficoltà.

« tra » (1). Onde la continuità dell' etere supposta da alcuni non può ammettersi.

La polarizzazione della luce è sommamente preziosa per riconoscere l' interna struttura de' corpi, e per essa la luce diviene lo strumento analitico più delicato per iscandagliarla. Essa, per servirmi della frase di un celebre scrittore, fa come un viaggiatore, che attraversato che abbia ignoti paesi ne riesce ricco di notizie che rivela altrui. Infatti per tal mezzo si è potuto conoscere che i solidi in apparenza i più omogenei sono profondamente ineguali nella loro struttura, e che perfino i liquidi hanno struttura più complicata che dietro le semplici leggi meccaniche non si credeva. Sua mercè si potè riconoscere l' azione del magnetismo sui corpi trasparenti; e la luce, uscendo dai gabinetti dei fisici, è diventata uno strumento popolare di analisi per conoscere le falsificazioni dei generi più importanti (2). Noi lasciate da parte tutte queste meravigliose e veramente incantevoli bellezze che la luce polarizzata dischiude nei corpi, ci occuperemo di un solo soggetto strettamente connesso col nostro tema, cioè la struttura metallica.

§. 8.

Dell' opacità de' corpi, e principalmente delle proprietà de' metalli in ordine alla luce.

Nessun corpo è perfettamente trasparente e nessuno perfettamente opaco, quando è ridotto a conveniente sottigliezza; quindi ha luogo un assorbimento della luce, che come si disse si trasforma in calorico o in azione chimica. Dal detto finora risulta che tale assorbimento può nascere

(1) Mossotti *Fis. Matem.* vol. II. lez. 23. pag. 324 note.

(2) È noto a tutti l' uso che se ne fa nell' analisi de' zuccheri ed altri preparati che rotano il piano di polarizzazione.

da più cause: cioè 1.° Dall' attrito o frizione che soffre l'onda eterea nel passare attorno alle molecole di forma più o meno angolosa. 2.° Dal lavoro fatto dalla forza viva dell'etere nel produrre un passaggio delle molecole a nuovo stato di equilibrio permanente. 3.° Dalla suscettibilità delle medesime di vibrare più o meno all' unisono colle oscillazioni del mezzo incidente; ovvero, nel caso di non unisona vibrazione, per la sovrapposizione di onde di varie lunghezze può il corpo pesante divenir centro di onde più lunghe di quelle che sono le onde incidenti (1). Ci resta ancora ad esaminare una classe importante di mezzi assorbenti quali sono i metalli.

Da gran pezzo i corpi metallici erano dagli altri diversificati per la qualità particolare del loro lustro, che è congiunto con una specie particolare di opacità, la quale non può attribuirsi ad irregolarità di struttura, come in tanti altri corpi, perchè si manifesta nei medesimi anche quando sono purissimi e cristallizzati. La scoperta della polarizzazione della luce fece risaltare anche più questo carattere, perchè mentre in tutte le sostanze diafane si avea una certa incidenza nella quale la luce era polarizzata sensibilmente per intero, nei metalli non aveasi ciò in nessun modo, e solo si osservava un angolo di massima polarizzazione, ma assai incompleta. Si credeva però che la forza rifrangente dei metalli dovesse essere assai forte, perchè era grande l'angolo di detta massima polarizzazione che cresce a misura della forza rifrangente. Questa analogia si appoggiava dal fatto del diamante, che gode di molta forza rifrangente e insieme polarizza imperfettamente e in ciò si accosta ai metalli. Un altro fatto pure poteva mettersi in re-

(1) Fa qui a proposito citare l'esperienza del Tartini il quale trovò che quando due corde i cui suoni fondamentali sono numeri primi in sè fan vibrare una terza, questa rende il suono suo fondamentale, benchè assai più basso delle due altre. La ragione non è difficile a capirsi per l'incommensurabilità de' moti eccitatori.

lazione colla proprietà metallica, ed era la vivace riflessione che ha luogo nell' interno dè prismi quando vi è la *riflessione totale*: e realmente è questo il fatto che ha dato la chiave per intendere il mistero della struttura metallica sulla luce.

Fresnel per una di quelle intuizioni con cui i grandi genii scorgono la verità anche quando non hanno ragioni da persuaderla altrui, scoprì che nella riflessione totale la luce soffre tal modificazione, che quando il raggio polarizzato cade con certa obliquità e sotto certo azimut sopra una faccia del prisma, le due componenti in cui può risolversi il suo movimento e che riunite devono dare il raggio riflesso, non sono più d'accordo nella fase, ma una di esse soffre un ritardo. Questo ritardo avviene come se in quel limite di densità differente che separa i due mezzi le particelle sentissero gradatamente l' influenza del mezzo eterogeneo, e di qui ne nasce che il raggio riflesso ha quella che dicesi polarizzazione ellittica, che facilmente poi si trasforma in circolare. Ora questo è appunto il caso che avviene nei metalli, i quali ancor essi polarizzano la luce ellitticamente, e la differenza delle fasi può farsi crescere a piacere col numero delle riflessioni che si faccian fare alla loro superficie.

Questa polarizzazione ellittica supponendo necessariamente una discordanza delle fasi nelle due componenti del raggio riflesso, si rileva che ambedue penetrano dentro alla sostanza, ma una più dell'altra, e quivi soffrendo un piccolo ritardo ne riescono discordanti e danno luogo alla oscillazione ellittica (1). L'esperienza diretta prova che questa spiegazione è esatta, perchè i raggi che sono emessi

(1) Le condizioni meccaniche per avere una ondulazione ellittica sono: 1.° che le due vibrazioni siano normali, e 2.° che si abbia un ritardo d' onda tra 0 e 1/4: se arriva a 1/4 l'ellisse diviene circolo; se lo supera torna ellittica in verso opposto.

dai metalli incandescenti sotto grande obliquità sono effettivamente polarizzati per rifrazione, e quando sono freddi, ma stesi in foglie sottilissime talchè lascino penetrarsi dalla luce, questa trovasi polarizzata sì fortemente, che una foglia d'oro, secondo Faraday, può far da polarizzatore meglio che non fa una serie di lastre di cristallo. Se non chè anche quì si tradisce l'ineguaglianza delle componenti, perchè il piano di polarizzazione è ruotato nel raggio trasmesso, ma i diversi metalli girano questo piano diversamente (1).

Era riserbato alla teoria generale di Cauchy il legare insieme tutti i fenomeni della riflessione e della rifrazione in un modo ammirabile. Dimostrò egli partendo dalle leggi generali de'moti vibratorii che il fenomeno della polarizzazione ellittica nella riflessione deve esser proprio di tutte le sostanze, e solo variare nell'estensione dell'intervallo in cui questa accade, il quale se trovasi assai largo pei metalli, non può per gli altri esser nullo rigorosamente. La teoria insegna che il raggio riflesso sotto l'angolo di più completa polarizzazione (che dicesi Brewsteriano) perde una mezz'onda nel passare per questo limite, e tal salto non può farsi in modo assolutamente discontinuo. Ma questa è la differenza tra i metalli e i corpi diafani, che nei primi si fa per un intervallo assai ampio, mentre negli altri si fa in un intervallo ristrettissimo. Ora queste conclusioni furono verificate dalle sperienze di Jamin. Inoltre si conobbe che dall'angolo di massima polarizzazione non può calcolarsi la velocità della luce nell'interno dei metalli, e dedursene l'indice di rifrazione, il che portava a valori enormi, e incredibili. Così per l'oro che polarizza a 15.° tal'indice sarebbe stato 3.79 e in altri metalli an-

(1) Faraday *Philos. Trans* 1857 part. I. pag. 148. La rotazione del piano di polarizzazione è un fenomeno assai complesso e che suppone la composizione di più moti: communemente nasce da due moti spirali uno *dextrorsum* e l'altro *sinistrorsum* ritardati di 1/4 d'onda. Veggansi su di ciò i trattatisti.

che più forte. Anzi si troverebbe che al contrario de'corpi diafani, la refrangibilità crescerebbe colla maggior lunghezza dell'onda (1). Ma la teoria c'insegna che quell'angolo è invece funzione di due quantità, una delle quali dipende dalla velocità e costituisce l'indice vero di refrazione: l'altra dipende da una azione propria del mezzo che impedisce la propagazione nel suo interno e che dà luogo ad una estinzione: questa quantità Cauchy la chiamò *coefficiente di estinzione*. È pertanto questa forza di estinzione che modifica la velocità di una delle componenti del raggio che poscia essendo riflesso fuori nuovamente e trovandosi in ritardo produce la vibrazione ellittica. Così l'impermeabilità de' metalli alla luce si trova collegata colla loro facoltà riflettente, ed essi costituiscono una categoria di corpi in cui le vibrazioni trasversali non possono propagarsi che a piccola profondità (2).

Il lettore ben comprende l'importanza di queste conseguenze per la teoria. È infatti manifesto il contrasto tra i mezzi diafani che intercettano le onde longitudinali e i metalli che impediscono le trasversali. Quindi è mestieri mettere a confronto le proprietà de'mezzi diafani coi metallici sotto altri rapporti ed effetti, onde arrivare a scoprire da che possa derivare questa proprietà singolare nei secondi. Avvertiamo in prima, che essa non dipende punto dalla natura chimica della sostanza, ma dalla sua aggregazione molecolare. Infatti il carbonio in stato di grafite e di carbone fa gli effetti metallici, ma in istato cristallizzato e di diamante appartiene ai diafani, e la differenza già indicata poco fa del non polarizzare perfettamente la luce si è trovato che dipende unicamente dalla sua forza riflettente. Lo stesso si è trovato aver luogo nel boro, che ancor esso veste il doppio stato adamantino e metalloide.

(1) V. Billet *Optique* Tom. II. pag. 145.
(2) Oltre Cauchy V. anche Billet Tom. II. pag. 139.

Gli esperimenti di Faraday ci mettono sulla via di trovare la vera ragione (1). Tutti sanno che l'oro in foglie sottili è trasparente, e veduto per trasmissione è di un bel color verde: l'oro purissimo ha lo stesso colore e solo un poco più tendente all'azzurro. Le foglie comuni hanno una spessezza secondo il fisico inglese che è $\frac{1}{5}$ o $\frac{1}{6}$ d'onda luminosa gialla, e trovò che facendo galleggiare le foglie battute sul cianuro di potassio sciolto nell'acqua, si potevano assottigliare assai e ottenere delle grossezze che secondo lui sono appena $\frac{1}{50}$ di onda. Malgrado tal sottigliezza il colore persiste e si vede bene anche in que' punti ove non apparisce col microscopio la minima discontinuità, Onde esso è dovuto ad una vera operazione di assorbimento. Ciò è provato pure dalla polarizzazione della luce che fanno queste foglie, che immerse nel solfuro di carbonio per annientare l'effetto del vetro su cui erano stese, polarizzavano più che una lamina di vetro nell'aria. Or bene provò Faraday che tale colorazione è dovuta unicamente alla compressione delle particelle del metallo. Infatti rincuocendo le foglie collo scaldarle cautamente sul vetro, esse divengono trasparentissime. Ma la più leggiera pressione di un'unghia o di un brunitoio passato su di esse faceva, ricomparire la tinta verde.

Nè ciò è proprietà sola dell'oro. L'argento pure offre la stessa singolarità. Le foglie sottili di questo metallo lasciano passare un color violaceo, o purpureo; ora alcune di esse chiuse in un tubo e scaldate quanto occorreva a rincuocerle bene, divenivano così trasparenti che appena si sarebbe creduta esser quella sostanza metallica. Ma compresse di nuovo, ritornavano allo splendore metallico e alla luce purpurea di prima; e mentre dianzi poteva vedersi la fiamma d'una candela per una spessezza di circa 40 di esse,

(1) Faraday mem. citata.

dopo la compressione una o due l'estinguevano affatto. Volatilizzando altri metalli col deflagrarli nell' idrogeno mediante scariche elettriche, ha trovato che i veli metallici così ottenuti agivano più o meno ad un modo. Il platino e il palladio agivano come l'oro, polarizzando la luce e facendo rotare il piano di polarizzazione nel medesimo verso, e lo stesso ottenne dallo stagno, piombo, alluminio, argento, rodio ecc. e dai solfuri metallici di antimonio, mercurio, rame ecc. Osservò inoltre che a vedere tali veli metallici per riflessione si esige che abbiano certa spessezza, altrimenti sono invisibili.

A compimento di questi lavori di Faraday sono venuti i più recenti del Quinke, il quale ha trovato che i sottilissimi veli d' argento precipitati per azione chimica senza compressione, propagano la luce più presto che il vuoto, mentre se sono compressi la ritardano (1).

La conclusione che discende spontanea da queste sperienze è doppia: 1° Che nei metalli la luce penetra fino a certa profondità, ma che presto si estingue, col che resta confermata la teoria di Cauchy. 2.° che ha una grande influenza su questa estinzione la percussione meccanica e la disposizione moleculare delle superficie. Non tutto però dipende dal lavoro e dalla preparazione, perchè anche i precipitati chimicamente operano lo stesso; ma in genere essi devono agire sulla luce riflessa alquanto diversamente secondo il modo di preparazione.

Ma quale à la ragione per cui la pressione può avere tanta influenza? Se non c' inganniamo essa dipende dalla

(1) V. Moigno *Mondes* 1. Ottobre 1863. App. Quindi le formole di Cauchy sono verificate perchè tutte fatte su metalli compressi, e l' andamento contrario della refrangibilità accennata di sopra che dedurrebbesi dagli indici di refrazione, forse ha la sua spiegazione in questo fatto dell'acceleramento che i metalli producono sulla luce quando non sono compressi.

particolare specie di elasticità de'corpi metallici stessi, che è molto imperfetta e presto viene oltrepassata nel suo limite: quando ciò accade essa non ha più forza da richiamare le particelle al posto di prima con la celerità che esige la rapidità dell'onda, per cui questa si trova estinta. Questo fatto non sarebbe diverso da quello che accade tutto dì in grande nelle operazioni meccaniche: i metalli si distinguono dagli altri corpi appunto perchè hanno una certa plasticità: essi ammettono una scorrevolezza delle loro particelle che forma le qualità tanto utili della duttilità e compressibilità, e li rende atti a ricevere impressioni, e modificazioni d'ogni specie. Ma tali modificazioni essi appunto le ritengono, perchè quando si eccede il *limite* di elasticità, le particelle non possono per le loro forze tornare al posto di prima. Una foglia sottile metallica rincotta è nel caso di una perfetta elasticità naturale e può trasmettere il moto oscillatorio: la stessa compressa ha già perduto questa facilità di oscillazione, almeno per certe vibrazioni, ed essendo sorpassato il suo limite di elasticità non avviene più la restituzione necessaria onde alcuni moti si estinguono e agisce come mezzo colorante. Crescendo la spessezza restano estinti tutti i moti trasversali, ma la forza viva non resterà annientata e dovrà il moto propagarsi in altro modo, come vedremo meglio trattando dell'elettrico. I metalli, specialmente se puri, di lor natura sembrano paragonabili piuttosto ai corpi molli che ai duri, e tutti sanno che per ottenere da essi una vera durezza è mestieri assoggettarli a diversi processi che ne modificano la coesione, e sovente è mestieri combinarli chimicamente con altri corpi o unirli in leghe. Anzi esaminando la velocità con cui propagano il suono stesso, essa (tranne il il ferro e l'acciaio) si trova di gran lunga inferiore a quella del vetro (1). Non sembrerà dunque strano ciò che andia-

(1) V. Daguin. *Traité de Phys.* tom. I. p. 615. Il ferro comune non è mai ben puro, l'acciaio è un composto.

mo dicendo, che essi devono riguardarsi come corpi di una elasticità imperfetta analoga per esempio a quella del sughero o degli ammassi di materie soffici, i quali benchè elastici pei moti meccanici ordinarii, pure servono eminentemente ad assorbire la forza viva delle vibrazioni per la lentezza con cui si restituiscono al primo stato.

Un fatto singolare conferma questa teoria. Senarmont provò che nei cristalli gli esempi di ellissoidi termiche schiacciate si trovavano in quelli che diconsi negativi (tormalina, spato d'Islanda) fra i quali trovasi anche più frequentemente assorbito il raggio ordinario, e che viceversa gli ellissodi termici ad asse allungato si trovano nei cristalli positivi (quarzo, ghiaccio ecc.) fra i quali si trovano quelli che assorbono lo straordinario, talchè trovasi generalmente assorbito quello de'moti *che appartiene all'asse di minore elasticità. Dunque una diminuzione di elasticità può rendere il corpo incapace di propagare le onde in una data direzione.*

Queste curve termiche possono farsi nascere nei corpi omogenei in un verso o in un altro secondo la pressione. Nei liquidi, come quelli in cui le pressioni si diffondono egualmente, non ha luogo per questa cagione eterogeneità di assorbimento, e generalmente per la semplice mutazione di stato senza azione chimica rimane costante ciò che dicesi ne'corpi *energia specifica* di rifrazione (1), e nessun di essi liquidi presenta le proprietà metalliche. Se alcuni sono dotati della facoltà rotatoria del piano di polarizzazione, tal facoltà è risedente nelle molecole e non nelle masse, e si trova nei medesimi quando anche sono in istato di vapore, e questi sono liquidi di origine organica.

In conclusione » tutte le azioni che alterano la densità della materia e la sua aggregazione moleculare, alterano eziandio la facilità di trasmissione di movimento nelle diverse direzioni, quindi accade che in alcune di esse

(1) Moigno *Mondes science pure* 23 Novem. 1863 pag. 680

l'elasticità può divenir insufficiente a propagare il moto oscillatorio donde l'opacità o totale o parziale di alcune classi di corpi, intendendo l' elasticità nel senso più ampio che può darsi a questa parola. (V. sopra pag. 186).

Qui non possiamo fare a meno di non istituire un parallello tra le proprietà de'corpi diafani e dei metallici, onde dal loro antagonismo far meglio rilevare l' importanza di questa materia e ciò servirà di scusa dell' esserci trattenuti su questo soggetto alquanto a lungo.

1.° Tutti i corpi metallici sono conduttori dell' elettricità e del calorico: i corpi diafani invece sono idioelettrici e isolanti, e pessimi conduttori del calorico.

2.° Nei corpi metallici esiste un limite oltre il quale possono spostarsi le molecole senza che accada discontinuità nella massa e così spostate restano al loro luogo, e tal limite è assai esteso, tranne poche eccezioni derivanti da azioni estrinseche, come nell'acciaio. Nei corpi diafani tal limite di escursione è ristrettissimo, nè si riesce a conservarle fuori del loro posto e forzatevi anche per poco facilmente si separano e cagionano la rottura, onde in genere la loro elasticità è realmente più perfetta benchè meno estesa, quindi manca in essi la duttilità e malleabilità.

3.° I corpi metallici tranne certa piccola spessezza sono opachi, i non metallici sono generalmente trasparenti quando sono puri ed esenti da materie eterogenee. Se alcuni di questi sono opachi, è appunto perchè per certi raggi essi agiscono al modo de' metalli, e vedremo nell' articolo seguente come ciò nei cristalli dipenda appunto dalla differente elasticità nelle diverse direzioni. Il ferro oligisto e la cartamina su di alcuni raggi operano come metalli, su altri come diafani. Ciò conferma che tale assorbimento non dipende dalla natura chimica de' corpi, ma dalla struttura moleculare. Questa proprietà è connessa coll'altra che i corpi metallici polarizzano per riflessione la luce in ellissi assai ampie, i diafani in ellissi strettissime.

Da questi pochi termini di confronto, ma che sono abbastanza sostanziali, apparisce che le vibrazioni trasversali restano estinte colà ove un'altra specie di moto può propagarsi: l'aver luogo l'una o l'altra dipende appunto dalla disposizione moleculare, come dall' analisi dedusse Cauchy, poichè secondo tale aggregazione una stessa sostanza è diafana o opaca, isolante o conduttrice.

E qui possono naturalmente farsi alcune domande. E la 1.ª è: qual è la specie di moto in cui si trasforma la vibrazione? È essa tutta convertita in calorico, ossia in moto vibratorio della materia pesante, ovvero si trasforma in moto di altra specie? È certo in prima che il moto comunicato dalla luce al mezzo non si annienta, onde vediamo i metalli scaldarsi enormemente al sole, mentre i corpi diafani appena se ne risentono. Noi vedremo che nei metalli ha luogo un altro genere di moto interiore, da prendersi ancor esso in considerazione: ma qui non è permesso l'andare più avanti senza entrare in materie che dobbiamo ancora trattare. La 2.ª quale è la causa per cui i metalli hanno proprietà tanto opposte ai diafani? Qui non si possono fare che congetture, e non ci sarà disdetto farne una, alla quale il lettore darà quel peso che crederà. Le ricerche cristallografiche ci insegnano che i metalli hanno forme assai vicine al cubo: potrebbe esser questo un indizio che le loro molecule primitive sono assai vicine alla sfera, o in termini più generali, che i loro momenti di inerzia, sono o eguali o assai prossimamente tali. In tal caso le molecule nell'interno delle masse sarebbero assai mobili e potrebbero facilmente aggiustarsi ad ogni impulso, onde facilmente assorbirebbero la forza viva esteriore nell' atto che acquistano una novella posizione più o meno permanente. I corpi diafani all'incontro (per lo più composti) avendo assi d' inerzia assai disuguali riuscirebbero meno facili ad esser smossi dalle loro posizioni dal mezzo che li sollecita, e quindi questo passa li-

beramente girando attorno di esse (1). Così vediamo che nell' acqua un corpo cedevole e molle estingue le onde, mentre uno duro ne è contornato e seguono a propagarsi.

Alle cause dell' assorbimento indicate al principio di questo articolo và dunque unita ancor questa, cioè l'imperfetta elasticità de' metalli che impedisce in essi la propagazione delle onde trasversali.

§. 9.

Della propagazione della luce nei mezzi solidi a elasticità ineguale: doppia refrazione.

Nella spiegazione de' fenomeni ottici la più grande difficoltà proviene dal non poterci noi fare una idea chiara di ciò che sia l'etere: tutto quello che di esso cerchiamo, dobbiamo dedurlo indirettamente dai fenomeni stessi che vogliamo spiegare. Quindi un continuo ragionare per ipotesi, i cui principii devono esser confermati dalle conseguenze: e siccome è difficile che il medesimo fatto non possa concepirsi accadere in più modi, quindi resta sempre qualche oscurità nelle spiegazioni. Questa generale incertezza si diffonde specialmente sulla materia che dobbiamo trattare in questo articolo, in cui è così connessa l'azione dei due agenti ponderabile ed imponderabile, che sommi fisici attribuirono la propagazione di ambedue i raggi in cui si divide la luce in certi corpi cristallizzati o almeno di uno di essi alla materia ponderabile. Gli studi anteriori ci hanno persuaso, che se la materia ponderabile con-

(1) Ben vediamo che è facile presentare delle eccezioni contrarie a ciò, come per es. il cloruro sodico, l'allume e il diamante che sono ad assi eguali. Però avverto che non dò teoremi ma congetture: del resto questi (fuori del diamante) sono corpi composti, che è sempre più difficile a far oscillare senza scomporli.

tribuisce a modificare il moto delle onde, queste però non si propagano per essa, ma solo che la sua influenza è diversa secondo la sua densità e disposizione.

Finora abbiamo detto dei mezzi a densità uniformi: ma nei mezzi di cui passiamo a trattare l'elasticità è differente secondo le tre dimensioni. Per procedere con chiarezza definiamo prima che debbasi intendere qui per elasticità e per corpo omogeneo. Noi seguiremo l'autore della *Teoria matematica dell' elasticità de' corpi solidi* più volte già citato.

Sopra abbiamo già dato la nozione generalissima dell'elasticità, che comprende tutte le forze sollecitatrici della materia, e che qui non occorre ripetere (1). Corpo omogeneo in questa teoria è quello in cui una retta di una data lunghezza L e di direzione determinata attraversa il medesimo numero n di sistemi moleculari in qualunque luogo essa sia posta, quando si muove *parallelamente* a sè stessa. Il rapporto $\frac{L}{n}$ può variare colla direzione, ma deve esser costante per le direzioni parallele. In tali corpi si dimostra geometricamente che qualunque sieno le forze determinatrici dell' equilibrio delle molecole, si potranno sempre trovare tre direzioni ad angolo retto tra di loro che corrispondano al massimo, medio e minimo valore dell' elasticità; e che prese tre rette ortogonali, che rappresentino questi valori, e costruito su di esse un ellissoide, un semidiametro di questo esprimerà in un'altra direzione qualunque l'elasticità del mezzo; questo dicesi *ellissoide di elasticità.*

Questa diversa elasticità porta seco necessariamente alcune conseguenze nella propagazione del moto ondulatorio, che sono le seguenti:

1.° Il moto etereo generato da un centro unico propagasi sempre come si è detto con oscillazioni delle

(1) V. pag. 186.

molecole trasversali al raggio e si risolve in due movimenti reciprocamente perpendicolari.

2.° Questi due movimenti si propagano con celerità diverse nelle varie direzioni e formano due falde diverse della superficie dell' onda.

3.° A ciascun sistema di falde elementari corrisponde un piano inviluppante distinto e così si hanno due raggi emergenti per uno incidente (1).

4.° Uno de' due raggi è polarizzato perpendicolarmente all' altro (n.° 1). L' ordinario nella sezione principale, lo straordinario perpendicolarmente a questa nei cristalli a un asse.

5.° Considerando le cose nel *tempo*, arriveranno in genere al medesimo punto del cristallo due scotimenti in *due tempi* diversi, il primo dal moto più celere, il secondo dal più lento, portativi dalle due falde dell' onda , salvo quei punti in cui le due falde si confondono in una.

Queste conseguenze sono deduzioni del calcolo verificate dai fenomeni: a noi non resta che cercare di renderle più accessibili che si possa a chi non è iniziato all' analisi geometrica: però premettiamo l' avvertimento che la propagazione della luce nei mezzi a doppia rifrazione non è che un caso speciale della teoria generale de'moti vibratorii nei mezzi di ineguale elasticità , ma che quì come nella meccanica celeste è impossibile voler seguire col puro ragionamento le scoperte dell'analisi, e bisogna contentarsi di ricevere da questa le conclusioni come si ricevono dai geometri per le forze che reggono gli astri , tuttavia cercheremo di dare ad intendere qualche cosa alla meglio, senza pretendere di raggiungere lo scopo completamente.

Primieramente noi possiamo farci una idea di questo mezzo a elasticità variabile nelle tre dimensioni considerando una verga di legno tagliata secondo le fibre. In essa

(1) Ciò sarà sviluppato più sotto.

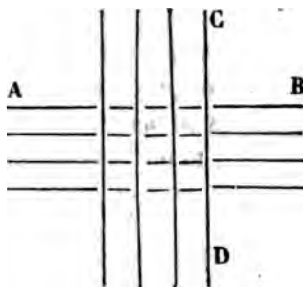
l'elasticità longitudinale secondo le fibre è diversa dalla trasversale, e nel piano stesso della sezione trasversa essa è differente nella direzione parallela ai piani degli strati del legno, da quella che si ha perpendicolarmente ad essi. Quindi una vibrazione eccitata in un tal solido non può camminare e propagarsi colla stessa celerità in tutte le direzioni. Dire precisamente che cosa ne avverrà, è solo in potere della geometria, ma è facile intendere che la velocità non può essere uniforme in tutte le direzioni, e che il moto propagandosi per elasticità differenti, l' onda non si potrà conservare unica in tutti i versi. Ciò accaderà specialmente per le oscillazioni trasversali nelle quali non si mette a profitto che l'elasticità del mezzo in due direzioni alla volta, e la terza componente dell' elasticità non influisce punto.

Supponiamo per fissare le idee che il piano in cui oscillano le molecole e si propagano le vibrazioni sia p. es. l'orizzontale, parallelamente alle linee A☰A': è manifesto che in tale propagazione non si mette a profitto che l'elasticità in due sensi: la prima e quella diretta secondo le linee stesse A, A' l'altra è quella che si ha perpendicolarmente al piano della figura per servire alla propagazione da strato a strato in senso longitudinale. Lo stato della elasticità in direzione perpendicolare ad A A' cioè la verticale nulla influirà, attesochè per la definizione propria di questi corpi, ogni retta parallela alla direzione dell' oscillazione di cui parliamo trova la stessa elasticità comunque si sposti in alto o in basso parallelamente a sè stessa. Lo stesso può dimostrarsi pei moti verticali, c |||| c', che non mettono a profitto che l'elasticità nel piano verticale, e la mobilità nella direzione longitudinale. Dunque in generale non sarà messa a profitto che l'elasticità che passa per la direzione della escursione moleculare, insieme colla mobi-

lità del mezzo nella direzione di propagazione del raggio.

Da ciò segue che nei mezzi a tre assai di elasticità disuguali, gli scotimenti devonsi propagare generalmente con diversa velocità nei due piani perpendicolari, se essi trovansi già costituiti ad angolo retto tra di loro. Però possono darsi due casi. 1.° che il raggio cammini lungo un asse di elasticità, 2.° che cammini obliquamente. La cosa è evidente quando il raggio si propaga lungo un asse perchè allora le oscillazioni sono parallele agli altri due come p. e. AB, e CD nella figura. Il primo sistema di oscil-

O m n k

lazione AB mettendo a profitto la mobilità in direzione perpendicolare al piano della figura e parallelamente ad AB soltanto, non sarà sturbato punto dall' altro sistema che propagasi oscillando parallelamente a CD, e i due sistemi di oscillazione si propagheranno con celerità indipendenti, talchè un punto *k* posto a distanza da *O* riceverà due scotimenti successivi *m*, *n*, uno proveniente dalle oscillazioni AB, l' altro dalle CD. Siccome però il piano tangente le onde in questo caso è normale all' asse, non si dividerà apparentemente il raggio in due quando uscirà per una faccia parallela a quella d' ingresso; ma si dividerà se esce per una faccia inclinata e apparirà la differenza di velocità e la sovrapposizione apparente de' raggi realmente doppi.

Nelle direzioni intermedie agli assi, uno dei movimovimenti si fa parallelamente all'asse di minima resistenza delle molecole, l' altro perpendicolarmente ad esso, e ciascuno dei due movimenti si propaga indipendentemente; ma siccome i piani tangenti all'ellissoide in tale direzione sono

inclinati alla direzione del diametro lungo il quale si propaga il moto, riescono anche inclinati i piani tangenti alle onde, e i raggi si separano, eccetto nella direzione perpendicolare alla sezione circolare dell'ellissoide la quale costituisce una direzione di elasticità trasversale eguale in tutti i sensi, e sulla quale per ciò il raggio non si divide. A tale sezione corrispondono gli *assi ottici*. La direzione di questi assi è dipendente dalla diversa lunghezza dell' onda trasmessa, e si verifica un fenomeno simile a quello della dispersione.

Riesce comunemente assai difficile il concepire come un moto unico quale è quello della luce naturale quando entra in un cristallo possa dar luogo a due moti disposti come si è detto (1). Ad appianare tale difficoltà basta riflettere ad alcuni fenomeni più sensibili che hanno luogo nei corpi vibranti quando sono anch'essi corpi dotati realmente di tre assi di elasticità disuguali. Eccitando con un archetto una verga a sezione rettangolare, le vibrazioni che essa riceve sono immediatamente quelle dovute alle direzione della minima resistenza: solo con gran pena nelle verghe rettangolari di sezione molto vicina al quadrato si riesce a destare le vibrazioni anche secondo l'altra dimensione, e allora si manfestano le linee nodali spirali assai

(1) Se la luce consistesse unicamente in moti oscillatorii degli atomi eterei attorno i loro centri di rotazione la cosa potrebbe più facilmente concepirsi, perchè in un sistema di tali atomi come tanti giroscopii similmente orientati, quello che è percosso equatorialmente darebbe origine ad una oscillazione polare normale all'urto: e questo andando ad urtare un secondo, con tal moto normale al primo produrrebbe un oscillazione normale alla propria e quindi parallela alla primitiva, e via discorrendo. Si avrebbero così realmente due sole specie di oscillazioni una normale all' altra, che si propagherebbero con diversa velocità secondo le pressioni del mezzo medesimo e la vicinanza degli atomi nelle diverse direzioni.

complicate. Ma se invece di una verga unica così composta e in cui pel legame molecolare si trovano impediti i due moti reciprocamente, si avessero due verghe di assai piccola spessezza dirette in senso reciprocamente perpendicolari e affatto libere, ciascuna innestata in una porzione comune dalla verga unica eccitata dall' archetto, è manifesto che ciascuna delle due verghe suddette vibrerebbe isolatamente de sè col suo proprio tono. E se inoltre le due verghe fossero di sostanze diverse, una farebbe arrivare il moto più presto dell'altra a un limite determinato. Tale è il caso dello scotimento unico che entra nell'etere; questo ha elasticità diversa nelle varie direzioni, ma essendo un fluido mobile, le molecole possonò spostarsi indipendentemente. Una delle vibrazioni si fa sempre in modo che passa per la direzione di minima resistenza ed è sempre perciò nel piano condotto per l'asse che è il piano detto *sezione principale* del cristallo, l'altro movimento si fa perpendicolarmente a questo. La direzione perpendicolare nasce non solo dalla possibilità teorica di decomporre sempre un moto in due rettangolari, ma dalla circostanza fisica che per tal modo la velocità del moto in una direzione di elasticità non può essere influenzata dall'altra.

In quanto al modo di determinarne la direzione dei raggi, bisogna distinguere nella doppia rifrazione come dicemmo da principio la propagazione *dell' impulso elementare*, dall' onda inviluppante che determina la direzione del *raggio luminoso*. L'impulso elementare si propaga su di una superficie la cui natura solo la geometria può determinare. Essa è una superficie di quart'ordine, a due falde, le quali però si intersecano in modo da dare origine a certi punti singolari detti *ombilichi*, in cui la superficie entra in se stessa come un cuscino al luogo ove è trapuntato. L' analisi ha scoperto e l' esperienza dimostrò esistere effettivamente nelle direzioni indicate dalla teoria i fenomeni singolari della refrazione conica, che è cagionata da questi ombelichi dentro i

cristalli, e la verifica di queste deduzioni è stata una delle prove più luminose del sistema ondulatorio.

Se l' ellissoide di elasticità (v. sopra) sia di rivoluzione attorno ad uno de'suoi assi, allora la superficie dell' onda si riduce ad una sfera e a una ellissoide di rivoluzione, e si hanno i cristalli a un asse, come lo spato d'Islanda, il ghiaccio ecc. L'ellissoide può esser accorciato o allungato, e si hanno così i cristalli — i o + i. L'ellissoide d'elasticità e visibile dalle curve termiche e dalle linee nodali delle lamine cristalline vibranti.

La direzione poi del raggio luminoso in questi corpi si determina colla costruzione solita di Ugenio, considerando sempre ciascun punto dell'onda antecedente come se fosse un centro di scotimento per l'onda seguente, ma alle sfere che si usano nei mezzi uniformi, deve sostituirsi l' una o l' altra delle due falde della superficie dell' onda: tirando a queste il piano inviluppante tangente a tutte le superficie, una perpendicolare ad esso determina il raggio risultante. Questa costruzione può e deve farsi per ciascun punto del cristallo, perchè dietro la definizione data della omogeneità in questi corpi, l'asse non è una linea, ma una direzione, e in ciascun punto di esso può sempre concepirsi l' ellissoide di elasticità talmente disposto che rappresenti l'elasticità del mezzo, e per esso passi il centro della superfice dell' onda.

Questo breve ed imperfetto abbozzo (necessariamente oscuro, per la natura del soggetto difficilissimo) del modo con cui si possono concepire i moti nell' interno de' mezzi a tre assi disuguali, supplisca per quanto si può alle astruse teorie de'geometri, i quali hanno con tali principii mercè l'assistenza dell'analisi spiegato tutti i fenomeni della doppia rifrazione. Che se nella teoria qualche piccola cosa resta anche dubbia o controversa, non è che su de'punti secondarii, nè le incertezze sono tali che possano revocare in dubbio i principii generali.

Lo scopo nostro nell' esporre questa materia non era altro che far vedere quale fosse la chiave di questi fenomeni, e che essa risiede nel principio di poter rappresentare l'elasticità in tutti i punti per un'ellissoide e per esso il numero di sistemi molecolari che incontra il raggio in una data direzione, il quale come si disse è sempre lo stesso per tutte le posizioni che prende una retta moventesi parallela a sè stessa. Ora una tale distribuzione non è difficile immaginare che si verifichi nei solidi per mezzo di una orientazione comune di tutte le molecole che li compongono, le quali si trovino avere tutti gli assi di rotazione in una direzione determinata. La cagione determinante tale direzione non è difficile a concepire nell' interno di un fluido, perchè tutte le rotazioni tendono al parallelismo quando operano le une sulle altre sia per urto, sia per azione continua. Potrebbesi ammettere che gli atomi eterei fossero orientati ancor essi per simile influenza, e ciò è assai probabile, ma non è rigorosamente necessario: la sola orientazione delle molecole ponderabili distribuisce diversamente il mezzo etereo e basta a dar ragione della ineguale velocità di propagazione nelle varie direzioni. Ove la materia ponderabile è più ravvicinata, ivi si ha la minima velocità, perchè l'etere si trova meno libero e mobile, essendo cresciuta l' inerzia complessiva del mezzo, per l'aumento del numero de'galleggianti ponderabili sulla medesima lunghezza lineare.

Molte cose sarebbero da dire per completare l'esposizione anche superficiale della propagazione della luce nell'interno dei corpi, ma queste sono troppo speciali de'trattati generali e noi dobbiamo qui supporle. Noi non neghiamo che il problema sia astruso, nè che manchino delle difficoltà, ma queste per lo più hanno origine dalla imperfezione dell'analisi, che non raggiunse ancora tutti i fenomeni presentati dall' esperienza. L' induzione del passato in cui maggiori lacune si sono sempre venute riempiendo, ci fa

sperare che le poche che restano veranno presto a scomparire. Inoltre se consideriamo che nella teoria che esclude l'etere non solo non si è data finora nessuna soddisfacente spiegazione di questo gran ramo di ottica, ma nè anche è stato possibile farne ragionevole tentativo, vedremo quanto da ciò resti comprovata l'esistenza di questo fluido universale. Nello stesso tempo però questo ci fa vedere essere la sua densità strettamente legata colla presenza della materia ponderabile, e non potersi da questa prescindere, ma nè anche a questa esser tutto dovuto.

§. 10.

Conclusioni generali di questo Capo.

La discussione sulla luce avea per iscopo di trovare in che consistesse quella forza che non solo serve a metterci in comunicazione col resto della creazione mediante la facoltà visiva, ma che tutta la vivifica per mezzo del calorico radiante, e la muta continuamente colle chimiche azioni. Si provò coi fatti, che queste tre forze non sono che un medesimo *modo di movimento di qualche sostanza.* Studiando più addentro i fenomeni si è trovato consistere meramente in un moto oscillatorio, analogo a quello che succede nei mezzi elastici. Si è cercato se fosse la materia ponderabile stessa che propagasse queste vibrazioni, ma si è veduto che tale ipotesi è inammissibile, onde veniva per conseguenza, esistere oltre questa un mezzo imponderabile che serve alla trasmissione della luce e delle radiazioni ed è diffuso nello spazio e nell'interno di tutti i corpi.

Questa vasta teoria non è ancora esaurita nelle sue applicazioni, e la spiegazione di molti fatti, specialmente riguardanti la relazione tra il moto reciproco della materia ponderabile e dell'etere, sono piuttosto intraveduti che veramente chiariti e molto meno dimostrati; ma ricordiamoci

quanto abbia costato alla meccanica il solo problema de'moti celesti, che pure è infinitamente più semplice, e vedremo che il raggiungere col calcolo ciò che l'osservazione addita in ogni fatto fisico è cosa assai ardua. Come la meccanica celeste ha le sue perturbazioni, così, e molte più, ne ha la meccanica moleculare. Tali sono per esempio i fenomeni della dispersione colorata, e la varietà della posizione degli assi ottici nei cristalli secondo la lunghezza delle onde, e tali certi dubbi assai sottili sulla direzione del moto delle molecole rapporto al raggio (1). Ma come quelle perturbazioni non impedirono di ammettere la forza di gravità, così queste non ci dovranno distogliere dall'ammettere la presenza dell' etere.

In questo capo si trovano tesi certe e congetture che non diamo per infallibili. Non devono confondersi le une colle altre. È certo che la luce si propaga per vibrazioni di un mezzo: e che questo mezzo non è la materia pesante, perchè animando questa di grande velocità, non cresce di altrettanto la velocità della luce come dovrebbe accadere. Questo fluido è materiale ma imponderabile. La sua esistenza ci ha suggerito *congetture* sulla struttura interna de'corpi per fare a meno delle forze astratte ammesse finora per spiegare i fenomeni della coesione de'corpi. Queste,

(1) V. Lamé pag. 329. Secondo Fresnel la vibrazione si eseguirebbe alla superficie delle onde sulle curve elissoidali, e non sulle curve sferiche: vale a dire che sarebbe parallela alla proiezione del raggio luminoso sull'onda piana tangente alla superficie, e non perpendicolare a questo raggio come viene dalla teoria meccanica di Lamè. In ambedue i casi la forma dell'onda è la stessa e i raggi sono polarizzati ad angolo retto, quindi è difficile decidere coll'esperienza. Cauchy dalle sue formole più complete di quelle di Lamè ottiene il medesimo risultato di Fresnel. Esiste ancora dubbio se le vibrazioni nei raggi polarizzati siano perpendicolari o paralleli al piano di polarizzazione. Quinke crede dimostrato quest'ultimo: i più sono pel contrario (*Ann. ch. et phys.* 1863.)

lo prevediamo, incontreranno grande opposizione da parte di quelli che seguaci delle vecchie scuole, pretendono che nei corpi vi sia alcuna cosa di più che materia e moto, e credono grave errore il negare le forze che essi poi non sanno dirci in che consistano. Ma a scanso d'equivoco insisteremo nel ripetere, che con ciò noi non neghiamo le forze, ma solo ne cerchiamo la spiegazione nei moti e nelle proprietà di un mezzo la cui esistenza è irrecusabile. Come per spiegare certi fatti, invece della causa occulta detta l'orrore al vuoto, che era una *forza* a'suoi tempi, noi ammettiamo la pressione atmosferica, così presentemente mediante l'etere crediamo potersi spiegare molti di que'fenomeni che vengono attribuiti a cause egualmente occulte. Noi diamo queste per mere congetture, ma in ciò non siamo soli ad avere tali opinioni (1).

Abbiamo veduto che le vibrazioni sono trasversali al raggio, e che ciò la teoria dimostra esser possibile in genere. Noi abbiamo cercato di ciò una ragione fisica e indicato un principio meccanico con cui tale trasversalità può meglio intendersi, cioè invocando il moto rotatorio degli atomi. La vibrazione trasversale non suppone cambiamento di densità, ma in generale ciò non vuol dire che non vi abbia ad essere anche vibrazione longitudinale: i meccanici credono che essa esista, ma possa non riuscirci sensibile come radiazione. Il suo effetto però, se vi è realmente, non deve esser nullo nell'economia della natura, ma finora non possiamo che congetturare quali effetti essa produca. L'opinione che questa producesse il calorico non può sostenersi, dopo provato che anche il calor raggiante si polariz-

(1) Citiamo volentieri gli altri per giustizia e per far vedere che queste non sono nostre utopie: del resto noi siamo d'avviso col Galileo (*Saggiatore*) che è una grande infelicità il non potere filosofare senza trovare la base delle opinioni nei detti altrui, anzichè nella natura stessa delle cose.

za. Alcuni hanno pensato che possa produrre le attrazioni della gravità (1). Ma di ciò a suo luogo.

Come la rotazione degli atomi eterei si presta a spiegare il moto trasversale, così la rotazione delle molecole ponderabili si presta a dar ragione della diversa elasticità dell' etere nelle varie direzioni dei cristalli birefringenti. Combinando i fatti finora conosciuti siamo condotti ad ammettere che in questi corpi le molecole abbiano una certa orientazione o parallelismo degli assi di rotazione, il che porta per conseguenza una diversa distribuzione dell'etere nelle varie direzioni del loro interno. Siamo pure condotti ad ammettere che stanti tali rotazioni l'etere debba acquistare diversa densità per quella dilatazione o specie di vortice che produce attorno a sè ciascuna molecola rotante. Questa diversa densità sarebbe la causa della dispersione prismatica e della ineguaglianza di posizione negli assi ottici dei cristalli pei diversi raggi colorati. E l'esser questa posizione tanto influenzata dal calorico (2), mostra che l'elemento vibratorio della molecola ponderabile non è inattivo in questi fenomeni. La stabilità delle rotazioni non sarebbe eguale in tutti i corpi, e sembrerebbe esser più mobile nei metalli, e nei corpi semplici che hanno molecole meno complicate ed angolose, cioè fornite di momenti principali d'inerzia meno disuguali. Nell'ignoranza completa in cui siamo tanto della costituzione elementare dell'etere che della materia ponderabile questo è tutto quello che noi possiamo dire. Solo dal fatto dell'assorbimento della luce nei corpi metallici possiamo argomentare che la causa stessa che permette alle azioni meccaniche certe modificazioni permanenti in questi corpi, e

(1) V. Keller. *Comptes Rendus* 1863 - Challis *Cosmos* 4 Decembre 1863.

(2) Nei cristalli di solfato di calce la direzione degli assi da positiva diviene negativa per una leggiera variazione di temperatura e muta coi diversi colori.

che indica una elasticità imperfetta, influisce pure sulla estinzione del moto vibratorio a piccola profondità.

Questi fatti sono scarsi per farci conoscere la natura dell' etere, ma ci mostrano che essa non è quella di un gas, e che le sue molecole non sono disseminate a grandi distanze, come quelle dei corpi pesanti, ed insieme rendono la sua esistenza indispensabile alla spiegazione dei fatti della natura. Egli è impossibile persuaderci che questo mezzo *non sia destinato ad altro che a vibrare* e mentre vediamo che tutti i corpi suscettibili di tale movimento, sono anche capaci di produrre tanti altri effetti, non possiamo più prescindere da esso in un tentativo qualunque di spiegare le forze della creazione. Dall'allargare la sfera delle sue operazioni è da sperare che ne nasca un più adequato concetto delle forze fisiche: e come l'ipotesi ondulatoria della luce fece svanire le innumerevoli forze che la teoria neutoniana metteva in giuoco nei corpi, così la teoria completa dell' influenza meccanica dell' etere potrà far sparire gran numero di quelle forze che oggidì si ammettono per spiegare altri fatti. Anzi dietro i grandi sforzi che si fanno da tanti scienziati, non è punto una temerità lo sperare che un dì svanirà la numerosa schiera di attrazioni e ripulsioni che ora popola la fisica (1) e vedemmo che non è difficile ridurre alla pressione dell' etere le azioni molecular e le chimiche

» L'esistenza dell'etere incontrastabilmente dimostrata
» (dice Lamé) dalla propagazione della luce negli spazi
» planetarii, dalla spiegazione altrettanto semplice che com-
» pleta dei fenomeni della diffrazione nella teoria delle on-
» de, e le leggi della doppia refrazione, provano con cer-
» tezza non minore che l' etere esiste nell' interno di
» tutti i corpi. Così la materia ponderabile non è sola nel-
» l'universo; le sue particelle nuotano in certo modo nel

(1) Come numi dell'Olimpo moderno, direbbe M. Émile Martin.

» mezzo di un fluido. Se questo fluido non è punto la causa
» unica di tutti i fatti osservabili, esso deve almeno mo-
» dificarli, servire alla loro propagazione complicare le lo-
» ro leggi. Non è dunque possibile arrivare a una spiega-
» zione completa dei fenomeni della natura fisica senza fa-
» re intervenire questo agente, la cui presenza è inevita-
» bile. Non si potrebbe dubitare che questa intervenzione
» troverà il secreto o la vera causa degli effetti che si at-
» tribuiscono al calorico, all'elettricità, al magnetismo, al-
» l'attrazione universale, alla coesione, alle affinità chimi-
» che: perchè tutti questi esseri misteriosi e incompren-
» sibili non sono al fondo che delle ipotesi di coordinazio-
» ne utili senza dubbio alla nostra ignoranza, ma che i
» progressi della scienza finiranno di detronizzare (1).

Noi nulla abbiamo da aggiungere a questa ammirabile conclusione, salvo il desiderio che si acceleri quel giorno in cui tanti esseri misteriosi spariscano dalla vera scienza. Intanto passiamo a vedere che prospetto ci dischiudano a questo proposito gli studi sulla elettricità.

---

(1) Lamé, conclusione finale dell'opera citata. Pei moti rotatori moleculari. V. *Bull.* Mét. *de l' Obs. de Paris* 17 Decembre 1863, M. de Colnet d' Huart.

CAPO TERZO

DELL' ELETTRICITA'

---

§. 1.

Idea generale di questa forza: sua indole ripulsiva

La materia a cui passiamo è di gran lunga più vasta e complicata delle esaminate finora. Non sono più in piccol numero i punti che dividono i dotti in teoria: i fatti stessi qui non sono ancora abbastanza assicurati e studiati, e appena può dirsi che esista tentativo ragionato di concatenare tanta moltitudine di fenomeni svariatissimi e numerosi oltre ogni credere con un solo sistema. L'accingersi a questo lavoro, colle nostre debolissime forze, sarà stimata audacia; ma la persuasione che sia un grave ostacolo al progresso della scienza questo stato vago e indeciso, e il desiderio di vederla divenir più perfetta, ci spingono all'ardito tentativo di raccogliere sotto una sola teoria un' immensità di studi e di sperienze, e ci fanno superare il ribrezzo che sentiamo a fronte della difficoltà di una tanta impresa. In tale opera è inevitabile, per la copia delle materie, che qualche inesattezza non isfugga, almeno nelle cose secondarie, e saremmo felici se nessuna ce ne sfuggisse anche nelle primarie.

Due opinioni principali dividono quasi esclusivamente il campo dell'elettricità. Gli uni vogliono che questa sia un moto della materia ponderabile, gli altri che sia quello di un fluido imponderabile, quel medesimo a cui è dovuta la luce: la scarsa frazione che tiene due fluidi *sui generis*, oggidì va sempre più perdendo seguaci. Certamente eliminato il

fluido calorico, sta in gran pericolo di essere pure eliminato il suo confratello il *fluido elettrico*. E non può negarsi che la cosa è assai seducente: e se si avessero da spiegare in natura solo i fenomeni del calorico e dell'elettrico, non credo che sarebbe gran fatto difficile ridur tutto a moto della materia ponderabile, ma vi sono de'fatti che imperiosamente impongono il contrario. Noi vedemmo già la necessità di ammettere l'etere per la luce, e per le attrazioni nel vuoto, e qui vedremo de' casi non dubbi in cui entrar deve in giuoco una materia imponderabile. Ora nella soluzione de' grandi problemi fisici, meglio che badare alla spiegazione de'casi particolari è da attendere al complesso generale, e allora la cosa cambia aspetto. Alcuni credono aver tutto risoluto dicendo che l'elettrico è una *forza*: ma se per *forza* s'intende un'astrazione, si cade nell'assurdo; se s'intende un modo di movimento, siamo d'accordo, e solo resta che ci si dimostri come possano concepirsi i fenomeni senza qualche stato della materia diverso dall'ordinaria ponderabile. Noi, fedeli al nostro sistema cominceremo dal ricapitolare i fatti, indipendentemente da ogni ipotesi, per collegarli poscia coi principii teorici.

L'*elettricità* ossia quell'agente che si desta stropicciando l'*elettro* o l'ambra, ci si manifesta sotto due modi ben distinti, uno chiamato di *tensione*, che si rende sensibile per azione di attrazione o ripulsione sui corpi leggieri; l'altro di *corrente*, che si riconosce ne'moti che imprime all' ago magnetico quando è circondato dai fili isolati investiti da questa forza: il secondo è sempre prodotto dal primo, quando i corpi elettrizzati *si scaricano*, sia tacitamente per mezzo di una sostanza conduttrice, sia violentemente attraverso l' aria con produzione di calorico e luce. - Queste parole stesse con cui accenniamo a fatti notissimi, presuppongono però altrettante nozioni sistematiche, le quali si pre-

sentarono spontaneamente ai fisici dietro analogie più o meno chiare, e tocca ora a noi ad analizzare fino a qual punto esse siano accurate ed ammissibili; ma per esser intesi non potendo fare a meno di queste formole note, noi non ci allontaneremo da esse durante questa indagine, ancorchè avesse a nascerne qualche apparente antilogia tra le locuzioni e le cose indicate.

I fatti di tensione sono quelli che furono scoperti per i primi, ma non sono i più propri a darci una giusta idea della natura di questa forza e a chiarirne l'indole; tuttavia essi sono della più alta importanza e da essi incominceremo la classificazione de'fatti, ma la loro spiegazione sarà riserbata in ultimo.

Nei fenomeni di tensione elettrica la forza si manifesta sempre con due modalità eguali ed opposte, chiamate per ciò *positiva* una, e *negativa* l'altra, perchè sempre si destano in pari quantità e restituiscono lo stato *neutrale* o ordinario de'corpi, qualora vengono riunite in pari quantità. Queste denominazioni non includono nessuna teoria, ma sono il risultato de'fatti. Queste due modalità hanno origine simultaneamente, e l'uno de'due corpi cimentati riesce elettrico in *più*, l'altro in *meno* dalla azione medesima, sia essa di moto meccanico, come frizione, pressione, percussione, o di attività calorifica o chimica. Nella produzione di queste due opposte modalità nessuna sostanza ha la proprietà esclusiva di divenire invariabilmente positiva o negativa, ma ciò dipende dalla relazione che un corpo ha coll'altro, e tale che riesce positivo con uno, riuscirà negativo con un altro: e nei corpi di sostanza identica, la decisione dipende dalla natura meccanica della superficie, se scabra o liscia, se più o meno estesa nei punti di azione ecc. Dal che si conclude la regola generale, che tale *doppio stato non è nulla di assoluto, ma meramente relativo.*

Il fenomeno più caratteristico di questa forza è quello di produrre un avvicinamento tra i corpi oppostamente elet-

trizzati quando siano in convenienti circostanze di mobilità, e un allontanamento in quelli che lo sono omologamente, e la legge che i corpi *omologamente elettrici si respingono, e gli oppostamente elettrici si attraggono* è pure un modo fondamentale di azione di questa forza. Si credette da principio che queste attrazioni e ripulsioni si facessero assolutamente a distanza, ma le ricerche di Faraday e Matteucci hanno dimostrato, che nel mezzo frapposto ha luogo una modificazione, chiamata *induzione*, che serve a trasmettere l'azione da un corpo all'altro. Questa induzione si esercita in modo diverso nei varii corpi. In alcuni, detti coibenti, come aria, vetro, ceralacca ecc. non avviene che una manifestazione di forza intermoleculare da strato a strato, onde p. e. un pacchetto di fogli di mica interposto fra i corpi elettrizzati trovasi in ogni sua foglia elettrizzato di segno opposto dal lato vicino al corpo elettrico, e dell'omologo dal lato lontano. Sarebbe prematuro il discutere in che consiste tale stato, e vi ritorneremo sopra appresso.

I corpi metallici acquistar possono ancor essi questa forza per attrito, ma per mostrarla devono esser sostenuti da corpi isolanti, altrimenti la forza si trasmette al suolo e si disperde, e nell'induzione si comportano assai diversamente. Posto un corpo metallico isolato vicino ad uno elettrizzato, il capo vicino diviene elettrico oppostamente, e il più lontano omologamente, talchè la distribuzione della forza sembra farsi sull'intera superficie come sopra un tutto unito e non si avvera in essi quella modificazione a strati di opposto segno elettrico. Si è preteso che questa forza si propagasse per linee curve, perchè si sono avuti certi segni di essa nelle parti posteriori de' corpi, anche dove un'azione per linea retta non si poteva concepire, e a tal proposito si sono allegati anche gli effluvi luminosi che usciti dai corpi elettrizzati propagansi talora per linee curve: ma in ciò si è confuso la linea che rappresenta l'e-

guale intensità di distribuzione della forza attorno un corpo, con la linea di propagazione della forza medesima: questa è essenzialmente rettilinea, l'altra può esser curvilinea.

Sono note le ipotesi imaginate dai fisici e adottate dai calcolatori per rappresentare questi fenomeni, ma esse restano sempre nel fondo mere ipotesi, e non decidono della natura della forza. Senza entrare in esse noi possiamo dietro i fatti stabilire alcune sue proprietà fondamentali.

1.° La forza elettrica agisce in ragione inversa del quadrato delle distanze.

2.° Essa è essenzialmente dipendente dalla materia ponderabile. I recenti sperimenti di Grove e Gassiot fatti nel vacuo ottenuto con mezzi chimici, decidono che lo spazio privo di materia pesante è isolante.

3.° Essa è una forza di genere espansivo. Arrivata a certo grado di intensità essa giunge a staccare dai corpi le particelle in quantità apprezzabile in peso, e le mette in vibrazione luminosa e calorifica, il che forma la scarica *disruptiva* e *per scintilla*. È un punto ormai posto fuori di dubbio possibile che la scintilla consiste nella volatilizzazione e combustione di alcune particelle del corpo, da cui parte. E ne fanno prova gli spettri prismatici della medesima, che contengono unicamente quelle righe luminose, che sono proprie dei metalli fra cui si fa la scarica e che si hanno da essi quando bruciano ad elevata temperatura.

La luminosità elettrica non è solo propria de'corpi metallici quando si scaricano per violenta scintilla, ma è comune a tutti i corpi isolanti strofinati o percossi allo scuro in conveniente stato di secchezza atmosferica: certe sostanze al rompersi gettano vivi effluvi di luce (zucchero, solfo, cloruro di calcio ec.): tale luce è meramente elettrica, e nasce da agitazione moleculare de' corpi promossa dall'attrito. Tali luci prima si dissero fosforiche, ma quella che viene dal fosforo elementare si genera quando esso si combina coll'ossigene: tuttavia essa pure è provocata dai moti

moleculari o dalleagitazioni e variazioni di pressione del gas circostante (1). Gli altri fenomeni di fosforescenza abbiamo già veduto a che possono attribuirsi; e la facoltà che ha la scarica elettrica di destare tali splendori mostra quanto essa sia capace di scuotere le molecole superficiali de'corpi, il che fa tanto meglio, quantopiù è indebolita la loro coesione coll'essere ridotti in polvere e tritati previamente.

Si è domandato se tal movimento e tale stato o condizione superficiale espansiva sia solo propria de'corpi quando sono soggetti a cause estrinseche provocanti l'elettricità, ovvero trovisi in essi permanentemente, anche quando sono in istato che dicesi naturale.

Nel capo primo toccammo già questa materia al §. 8 e vedemmo che il Fusinieri, il Bizio e il Zantededeschi hanno raccolto una numerosa serie di fatti che mostrano qualmente, molti de'corpi allo stato naturale somministrano di continuo cotali emanazioni, che costituiscono non solo lo stato di evaporazione dei liquidi, ma anche la lenta sublimazione de'solidi, e che tale sublimazione impercettibile nei più alla comune temperatura diviene assai copiosa quando questa s' innalza. Tali emanazioni sono in piccolo e allo stato naturale quello stesso che accade in un modo più violento e palpabile, quando una scintilla elettrica scaricata su di una moneta spalmata di piombaggine, ne produce il disegno esattissimo su di un foglio di carta o su di un mastice, che poi si rende visibile col fiato, o colle polveri di minio o solfo (2); nè differiscono se non nell'intensità dalle impronte che fa il fulmine, quando stampa a distanza talora molto grande i contorni de'corpi da cui uscì la scarica.

Questi e infiniti altri fatti simili ci portano a supporre che *i fenomeni prodotti dalla tensione elettrica non sono che una esaltazione di que'movimenti che abitualmente hanno luo-*

(1) V. Bizio Dinamica chimica T. I. pag. 104 e seg.
(2) Imagini di Morren e figure di Lichtemberg.

go alla superficie di tutti i corpi, i quali portarono i fisici ad ammettere certe forze ripulsive, che non sono mai inattive, anche quando i corpi sono nella massima quiete apparente. Non è qui luogo di stabilire questo punto come dimostrato dai fatti citati: solo ci limitiamo a mostrare la convenienza di tale ipotesi. E certamente dietro la teoria adesso generalmente ammessa sul calorico, non può restar dubbio che questa forza ripulsiva non sia altro che il movimento termico medesimo, che si manifesta con maggior facilità alla superficie libera de'corpi, ove manca il compenso delle forze attraenti risultanti dalla mutua azione della sfera completa delle molecole circostanti. Questa conclusione che non può rigettarsi in veruno dei sistemi adottati finora per spiegare la costituzione de'corpi, ci porta a domandare, se in tale movimento continuo abbia nessuna parte l'etere che dall'esame dei fenomeni ottici sappiamo esistere in tutti i corpi.

Certamente la risposta non può esser dubbia se si assuma come provata l'esistenza di questo fluido dietro i fenomeni già esposti intorno alla luce: tuttavia vogliamo per ora prescindere da esso e vedere a che conclusione si conducono i fatti dell' elettricità. Noi ci terremo in sospeso su la materia che qui entra in moto, finchè non sia chiarito dai fenomeni stessi quale opinione abbiasi da adottare.

Quindi per ora non presupporemo se vi sia un fluido elettrico o no, e nemmeno se questo sia identico coll'etere, perchè la cosa dovrà definirsi solo dopo lo studio di quelle modificazioni che succedono nell'interno de'corpi, e per studiare le quali, lasciando da parte l' ordine delle scoperte che guidò i fisici a certe idee e teoriche, prenderemo ad esaminare quelli in prima che più sollecitamente ci possono portare a formarci una idea precisa di questa forza che ha un campo d'azione sì vasto nella natura.

Soltanto qui dobbiamo premunirci dell' avviso che in questo studio la terminologia usata, spesso ci strascinerà a parole il cui senso implicherà qualche ipotesi; ma noi dichia-

riamo fin d'ora di usarle come termini meramente convenzionali e senza riguardo alla loro etimologia o significato naturale, sinchè sia dimostrato se siano o no convenienti.

§. 2.

Prime ricerche sulla natura della corrente elettrica. Azioni elettrodinamiche.

I fenomeni che ci presentano i corpi elettrizzati per tensione danno bensì la prova dell' esistenza di una forza residente alla superficie dei corpi, ma nulla ci dicono sulle modificazioni che essa è capace di produrre nel loro interno. La combinazione invece sì felicemente immaginata dal Volta col suo elettromotore o *pila*, ci dà il mezzo da studiare in molti modi ciò che avviene dentro dei medesimi. Questo apparato quando è isolato, studiato in ordine alle tensioni, ci mostra che le sue due estremità sono una in istato elettrico positivo, l'altra in istato negativo, ma noi finora non possiamo dire in che consistano fisicamente questi stati. Solo sappiamo che le attrazioni e le ripulsioni, gli effetti calorifici e fisiologici prodotti, non lasciano dubbio sulla identità di questo stato elettrico con quello dell'elettricità comune originata dalla frizione, il qual punto fu profondamente discusso prima dal Volta stesso e ultimamente da Faraday.

Ma quando i capi della pila vengono congiunti con un corpo deferente, si manifestano fenomeni di tutt' altro genere. Se il conduttore sia un liquido decomponibile, esso si scomporrà nei suoi elementi; se sia un filo metallico, oltre lo scaldarsi o anche fondersi, come farebbe per le scariche di tensione, eserciterà azioni sugli aghi magnetici e determinerà certi movimenti sulle varie parti mobili del circuito affatto diversi da quelli che finora abbiamo veduto accadere. Talchè per parlare in termini indipendenti da ogni

ipotesi, *la linea attuata da forza elettrica*, e che per termine convenzionale dicesi *corrente* (1) somministra nuovi fenomeni e dati per conoscere il suo genere di azione, che ci illumineranno sulla natura stessa di quelli di *tensione*.

I fatti che si manifestano chiudendo i poli di una pila non sono differenti che per maggiore o minore grado di effetto da quelli che si svolgono in un filo metallico che unisca i cuscinetti della macchina elettrica ordinaria col suo conduttore; ma la pila offrendo più facilità pel loro sviluppo, a questa comunemente si ricorre per istudiarli, e noi dobbiamo brevemente passarli in rassegna, secondo il sistema già già adottato nelle due parti precedenti di quest'opera, che è sempre stato di prima esporre i fatti, indi trarne le conclusioni.

La prima cosa distintiva della corrente è quella di avere *una direzione determinata*, onde è opposta la serie de' fenomeni andando dallo zinco al rame, e dal rame allo zinco. Dicesi direzione della corrente la direzione dell'idrogeno nella decomposizione dell' acqua, e questa porta che nel conduttore che congiunge il polo rame col polo zinco, dicasi corrente la direzione dalla estremità zinco alla estremità rame. Questa medesima facoltà di *direzione* si osserva nei fenomeni scoperti da Oersted. Fino a questo fisico, tutti gli studi di attrazione e ripulsione elettrica colla pila erano stati fatti conservando i poli separati, onde non si notarono che le consuete attrazioni e ripulsioni di tensione. Questi usando nelle medesime esperienze un ago magnetico come semplice elettroscopio, ebbe la fortuna di vedere che l'ago il quale poco si moveva quando il circuito era aperto, deviava invece fortemente quando era chiuso.

Se fu mera sorte l' osservazione di questo fatto, fu

(1) Ecco un termine che implica una teoria : noi l' useremo per brevità in luogo della frase troppo lunga di *linea attuata dalla forza elettrica.*

è merito di singolare sagacia lo studiarne le leggi sotto ti gli aspetti possibili, talchè uscì dalle sue mani affatto mpleta la serie de' fatti che possono osservarsi nell' a-one di un conduttore attuato dalla forza elettrica su di n ago magnetico. La regola fissata per questi movimenti tale che immaginando un ago magnetico nella sua posizione naturale, e parallelo ad esso un filo animato da corrente, l'ago devia col polo nord a ponente o a levante secondo che la corrente va al nord o al sud: il contrario accade se il filo è sotto l'ago.

Oersted tentò una teoria per ispiegarli, che consisteva in ridurli ad una *polarità trasversale* destata dalla corrente nel filo, onde l' ago per mettersi parallelo a questi quasi altrettanti piccoli aghi trasversali al conduttore, faceva que' movimenti. Siccome di tale polarità non si ha altra prova che i fatti stessi che devonsi spiegare, è manifesto che tale teoria non costituiva che un modo di enunciazione diversa dei fatti medesimi, e nulla insegnava di nuovo.

Queste scoperte giunsero in Francia pochi mesi dopo, e il potente genio di Ampére le afferrò con quella forza di comprensione, che solo può avere su tali fatti un profondo geometra, e presto ne creò una nuova scienza, e fu salutato come il Neuton dell'*elettrodinamica*.

La teoria di Oersted fu presto abbandonata, e osservando attentamente, essa include due postulati ambedue difficili ad ammettersi. 1° Essa spiega l'ignoto per l'ignoto: perchè, che cosa è la polarità? e singolarmente in che consiste la polarità magnetica? Di questa parola si è purtroppo assai abusato, e uno spirito positivo stenta ad ammetterla senza averne una chiara idea, e quì non era il caso. 2.° Essa introduce in alcuni casi, che vedremo appresso, la necessità di ammettere una forza operante trasversalmente alla retta che congiunge i punti attraente ed attratto, il che è contrario all' analogia delle altre forze, che tutte si eser-

citano secondo la linea che congiunge i punti attuati. Quindi Ampére fondato su certe idee speciali intorno alla costituzione della materia, credette meglio dover rovesciare l'ipotesi, e ammettere le calamite come prodotte da correnti. Fu come anello a queste speculazioni il fatto che la terra agisce come una gran calamita, ed essendo assai probabile che tal forza in essa sia dovuta alle molte correnti elettriche che vi si trovano continuamente in circolazione, per le azioni chimiche e termiche, stimò ciò egualmente non impossibile per le altre calamite, e presto riuscì a imitare i fenomeni delle calamite con semplici sistemi di fili di rame percorsi dalla corrente.

Un fatto preso per base da Ampére fu che un conduttore che ha piccole sinuosità agisce come un conduttore rettilineo terminato ai medesimi punti del conduttore sinuoso: quindi se ne concluse che la composizione delle forze della corrente si fa colle solite leggi della statica ordinaria, ma oltre le attrazioni in ragione inversa del quadrato delle distanze, è mestieri tener conto della direzione che nei conduttori ha la corrente stessa.

Il risultato fondamentale a cui arrivò Ampére è il seguente. Due elementi di corrente si attraggono in ragione composta diretta delle rispettive intensità, in inversa del quadrato delle distanze, e diretta di una certa funzione degli angoli compresi tra le loro direzioni. In questa legge elementare merita attenzione la circostanza che, per elementi di correnti obliqui, l'azione si compone di due parti, cioè di un'azione attrativa tra le parti parallele in cui possono decomporsi le correnti, di una ripulsiva delle due porzioni collocate sulla medesima linea retta, e tra le due è un rapporto costante $= -\frac{1}{2}$, donde si cava che le *parti successive di una medesima corrente si respingono.*

Di qui ne discendono le seguenti leggi per le correnti finite: 1.° Due correnti parallele si attraggono se sono di-

rette nello stesso verso: si respingono se sono dirette in verso opposto.

2.° Due correnti ad angolo girano attorno alla lor comune perpendicolare fino a divenir parallele e dirette nello stesso verso.

3.° Due sistemi composti di correnti circolari parallele infilate sul medesimo asse (detti *solenoidi*) si attraggono e si respingono mutuamenente come due calamite.

4.° Le calamite agiscono come meri sistemi di correnti analoghe ai solenoidi.

I fatti osservati da Oersted entravano così come casi particolari nella teoria generale, e non si avea bisogno di altri principii che i communi della meccanica, e della composizione dei movimenti.

Però a guardar bene la cosa, finora ciò non era che un rovesciare la maniera di concepire il problema, e come Oersted riduceva le correnti a calamite, così Ampére riduceva le calamite a correnti. Tutti questi erano fenomeni statici e di mero equilibrio tra forze che potevano concepirsi *emanare da centri fissi*, e per ciò non uscivano dalla sfera de'fatti noti fino allora: non si tardò però guari a scoprire una serie di fenomeni che introducevano un nuovo genere di azioni, e così somministrarono un esperimento decisivo per chiarire l'indole delle precedenti. Queste furono le rotazioni continue delle calamite trovate da Faraday ed estese poscia da Savary dietro le formole di Ampére ai semplici conduttori delle correnti.

Se si mette una calamita cilindrica a galleggiare nel mercurio, caricandola di un peso di platino, onde resti in esso verticale come un aerometro, e si faccia passare per essa e pel mercurio una corrente abbastanza forte, la calamita concepisce un moto rotatorio assai rapido che continua quanto dura la corrente stessa, malgrado l' attrito del denso metallo in cui galleggia. Anche mettendo i reofori semplicemente in due parti del mercurio, uno al cen-

tro, l'altro alla circonferenza, la calamita concepisce un moto traslatorio e rotatorio che richiama alla mente quello de' sistemi planetarii, e tutto ciò malgrado la resistenza enorme del metallo. Questi fatti furono allegati per provare fra la corrente e la calamita una forza tangenziale perpendicolare alla retta che le univa, ma Ampére fece vedere che tal forza non era punto la forza vera primitiva, ma invece una risultante secondaria, semplice corollario delle leggi già esposte sulle correnti, e che potevano tali movimenti aversi dalle correnti stesse, purchè però i conduttori non formassero un circuito perfettamente chiuso, perin questo caso non agiscano più che come forze dirette a un centro fisso, le quali sono incapaci di dare la componente tangenziale e l'aumento di forza viva. A prova di tale teoria si costruirono apparati in cui un conduttore mobile circolava continuamente per l'azione di una spirale circolare, e nel calcolo di questi fenomeni non entrarono altri elementi che quelli della pura composizione meccanica delle forze ordinarie. Così le forze trasversali sparivano e i fatti citati a loro appoggio entravano nelle regole ordinarie.

Questi fatti sono assai importanti per la teoria. Essi non ci manifestano, è vero, ancora in che cosa consista ciò che diciamo *corrente*, ma ci dimostrano che i conduttori non sono in un stato di mero equilibrio statico, qual è quello comunemente concepito nelle polarità, ma in un altra condizione capace di vincere le resistenze degli attriti e l'ostacolo proveniente dai fluidi in cui sono immersi, e quindi animati da una forza capace di produrre un *lavoro*: e la causa che li produce dà una forza viva che restituisce al conduttore quel moto che perde per le resistenze. Le forze in istretto senso polari essendo tali che equivalgono a sistemi di forze dirette a centri fissi, non possono sviluppare aumento di forza viva e quindi sono escluse per sempre come insufficienti a spiegare questa numerosa classe di fatti.

Ampére conobbe tutta l'importanza di questa scoperta, e scriveva. « Un moto che si continua sempre nel
» medesimo verso malgrado gli attriti, e la resistenza dei
» mezzi, e *questo moto prodotto per l'azione mutua di due*
» *corpi che restano costantemente nel medesimo stato*, è un
» fatto senza esempio in tutto quello che noi sapevamo
» delle proprietà della materia inorganica: esso prova che
» che l'azione emanante dai conduttori voltaici non può es-
» ser dovuta a una distribuzione particolare di certi fluidi
» in riposo in questi conduttori, come lo sono le attrazioni
» e le ripulsioni elettriche ordinarie. *Non si può attribuire*
» *questa azione che a dei fluidi in moto nei conduttori*,
» cui essi percorrono portandosi rapidamente da una estre-
» mità all'altra della pila » (Recueil d'Obs. Electrodynamiques p. 205, 8 Avril 1822. et pag. 297).

Questi fatti provano che ciò che diciamo corrente è una vera *condizione dinamica della materia*, ossia un vero moto intestino al conduttore, e resta solo a cercare quale specie di movimento esso sia (1). Prima di levar gli occhi da questo passo importante, dobbiamo richiamare l'attenzione sulle prime linee *corsive*, in cui l'autore parlando il linguaggio del suo tempo, sembra ammettere che i corpi da cui emana questa forza che costituisce la corrente restino in uno stato invariabile: ciò è manifestamente falso. Nessuna corrente ha mai luogo senza una proporzionata modificazione nelle sostanze che compongono l'elettromotore, e ciò si manifesta nella pila per una alterazione chimica di uno de metalli e per novelle combinazioni ne' liquidi. Il contatto di questi corpi può essere al più la via materiale

(1) Ci sorprende il vedere che in un punto tanto sostanziale il Grove ricorra ancora alle forze trasversali dimostrate incapaci di spiegare i fenomeni da Ampére. Anzi i lavori di quest' ultimo neanche sono accennati, come se non avessero mai esistito! Dissimulando difficoltà capitali è facile mettere sotto l'aspetto favorevole una teoria. *Correl. des forces* pag. 137.

con cui si agevola tale azione o trasporto, e a dir molto può forse esaltarne la potenza in qualche caso; ma i fatti stessi elettrodinamici ci fanno vedere che una produzione continua di fòrza viva non potendo venire dal nulla, essa deve avere la sua sede nell'apparato che si riconosce come generatore di questa forza stessa, e questa é indubitatamente nella pila la modificazione chimica delle sue parti.

Ampére conclude francamente dovere questi fenomeni esser effetti del trasporto di un fluido: ma tal conclusione venne rivocata in dubbio da alcuni che credettero i fenomeni di corrente esser dovuti piuttosto a un moto vibratorio. La soluzione definitiva del dubbio non può farsi senza avere studiato più addentro i fatti dello svolgimento e della propagazione della corrente. Per ora ci terremo in sospeso tra le due ipotesi: ma la produzione de'moti continui malgrado le resistenze e gli attriti, ci mostrano che la pila deve considerarsi come una macchina in attività, in cui in alcune parti esiste una sorgente di forza, nelle altre un assorbimento e una trasformazione in lavoro: lavoro di genere spesso diverso da quello che si vede nelle ordinarie macchine, ma non meno soggetto alle stesse leggi teoriche.

Esaminiamo dunque i fenomeni che accompagnano la corrente, a fine di conoscerne la natura.

§. 3.

Fenomeni calorifici della corrente: conclusioni che da essi derivano sulla natura della medesima.

Che la corrente sia un movimento nell'interno dei conduttori, e non una semplice disposizione statica della materia, non si può più negare dietro le scoperte di Ampére esposte nell'articolo precedente. Il lavoro meccanico incessante che essa produce, suppone una forza viva continua che non può essere originata che da una materia in mo-

to: quindi giustamente questi fenomeni si dissero *elettro-dinamici*, perchè derivano da una azione *dinamica* da cui è animato il conduttore. Ma oltre il lavoro meccanico ordinario, quale è quello de'conduttori, o almeno quello dei liquidi messi in agitazione, ha luogo sempre nel circolo un'azione termica la quale talora spinge i corpi all'incandescenza e volatilizzazione, e spesso un'azione chimica estranea a quella dell'elettromotore, che sono altrettanti lavori i quali tutti esigono un movimento.

Tanto i fenomeni magnetici che i chimici mostrano in questo moto una *direzione definita*, e *reversibile* col girare del conduttore materiale medesimo attuato, e perciò dipendente dall' angolo de' conduttori, in un modo che non è proprio de'moti vibratorii. Questa *reversibilità* (ci si permetta questo termine) distingue la corrente dal moto del calorico, onde essa può definirsi *un modo di movimento con direzione definita e reversibile.*

Ma non è facile definire in modo perentorio che specie di movimento essa sia, e se consista nel moto di traslazione di un fluido, come accennerebbe il suo mome, o se sia un semplice moto oscillatorio, analogo benchè, non identico, a quello del calorico, e se sia moto solo della materia ponderabile, o meramente della materia imponderabile, o finalmente se consista in un semplice trasporto della materia stessa ponderabile risoluta ne' suoi minimi dinamici. Sono queste altrettante ipotesi ammesse in varii tempi e difese da distinti autori, e la loro accettazione o il loro rifiuto deve decidersi unicamente dai fatti. Una classe di questi assai idonea a ciò sembrano quelli che riguardano il calorico svolto nel circuito, che ora passiamo a discutere.

L'esperienza ha dimostrato che, prescindendo da accidentali perturbazioni, hanno luogo le seguenti leggi pel calorico svolto nei fili.

1.° La temperatura definitiva in un filo di uniforme

grossezza e omogeneo è la stessa in tutte le sezioni del circuito a corrente stabilita.

2.° In un filo di ineguali sezioni la temperatura è in ragione inversa dal quadrato delle medesime.

3.° Il calorico destato in un filo da correnti diverse è in ragione del quadrato delle loro intensità.

4.° Malgrado le variazioni di temperatura e di sezione l'intensità della corrente è la stessa in ogni punto del circuito.

Prima d'esporre le conseguenze a cui conducono queste leggi, è necessario richiamare il significato della parola *intensità*. Noi diciamo che due correnti hanno la stessa intensità quando fannno deviare di un egual numero di gradi (1) il medesimo ago magnetico in uno stesso reometro, e ciò qualunque sia l' origine della corrente. Per la quarta delle citate leggi un ago magnetico, o un conduttore elettrodinamico mobile messo nel circuito mostra una medesima intensità o quantità di azione in ogni sua sezione, anche quando sopra o sotto di esso trovasi nel circuito un altro tratto in cui si opera un lavoro meccanico, elettromagnetico, chimico o un gran lavoro termico, come p. e. la luce elettrica tra i carboni. La bussola ci fa vedere che in ogni sezione è la stessa forza statica della corrente, il conduttore elettrodinamico girevole mostra che si fa in tutte le sezioni lo stesso lavoro e si svolge la stessa forza viva.

Se a un filo di data sezione e lunghezza si sostituiscano due fili di eguale lunghezza e di sezione pari alla metà (onde non alterare le resistenza del circuito), la deviazione sarà la metà su ciascuno dei due fili; come in tal caso la quantità del flusso resta la stessa in tutto il circuito e nulla può esser mutato della sua velocità, ma solo la massa animata del movimento o la *quantità* è ridotta a

(1) S'intendono gradi ridotti a valore proporzionale.

metà, quindi in questo caso deve dirsi che la bussola misura la quantità dell'elettrico in moto.

Per converso se un filo metallico si metta in un calorimetro e si impieghi la forza della corrente a scaldare l'acqua (1), si trova che la temperatura è in ragione della lunghezza del filo e del quadrato della deviazione della bussola, come vuole la seconda legge. Ora la massa ponderabile qui restando la stessa deve essere variata la velocità, e le temperature essendo misurate dalle forze vive che acquistano le molecole, le quali sono come i quadrati delle velocità, ne segue che la bussola misura un elemento dinamico proporzionale alle velocità della corrente (2). E come sopra la bussola ci dava la misura della massa, così in generale la bussola misurerà il prodotto della massa per la velocità dell'elettrico, ossia la *quantità* di elettrico che passa in un determinato tempo. Talchè essa è analoga agli strumenti usati dagli idraulici a misurare le correnti, che sono fondati sopra una certa inclinazione presa da essi rapporto alla gravità, come sono la ventola di Ximenes o l'asta ritrometrica.

La 2.ª legge relativa alle diverse sezioni ci mostra, che il moto che costituisce la corrente non è la semplice vibrazione termica della materia ponderabile che forma il conduttore. Infatti stante l'identica intensità della forza viva di questa in ogni sezione, si avrebbe

$$m v^2 = m' v'^2 \text{; donde } m : m' = v'^2 : v^2$$

e nelle sezioni diverse essendo la massa scossa proporzionale alle sezioni medesime si avrà.

$$\omega : \omega' = v'^2 : v^2$$

(1) A ciò può servire anche semplicemente un filo di platino immerso in un vaso d'acqua, tenendo conto delle perdite.

(2) Infatti dette t e t' le temperature, D e D' le deviazioni, si ha $t : t' = D^2 : D'^2$; ma stante la costanza della massa pesante scaldata nei due casi che rimane la stessa, si ha $t : t' = v^2 : v'^2$ dunque $D : D' = v : v'$

e le temperature essendo come il quadrato delle velocità, si avrà

$$\omega : \omega' = t' : t ,$$

cioè le temperature in ragione inversa semplice delle sezioni. Ma l'esperienza dice che invece sono in ragione inverse de'quadrati, cioè

$$\omega^2 : \omega'^2 = t' : t ,$$

quindi la detta ipotesi non può ammettersi.

Per lo contrario sostituendo nella formola sperimentale alle temperature le forze vive corrispondenti, la precedente ci dà

$$\omega^2 : \omega'^2 = v'^2 : v^2,$$

donde

$$\omega \; v = \omega' \; v';$$

vale a dire che le velocità da cui sono animate le molecole sono in ragione inversa delle sezioni. Questa è la regola de' fluidi trovata da Leonardo da Vinci, e comunemente conosciuta come legge del Castelli (1). È vero che le velocità che qui entrano nella formola sono le velocità termiche, cioè quelle del conduttore che sole sono determinabili, ma siccome per l'esclusione fatta precedentemente abbiamo veduto che il moto termico delle molecole ponderabili non può da sè solo costituire la corrente, quindi l' unica via da intendere questa legge è di ammettere nell'interno del filo un flusso che imprima alle dette molecole delle velocità proporzionali alla propria. E così si riconferma che l' indicazione della bussola è la misura della *quantità di questo flusso che passa in un determinato tempo.*

Si deve a Plüker un bell'esperimento che rende visibile ad occhio l'intensità maggiore della vibrazione col restringersi della sezione. Un tubo di Geissler che contiene

(1) V. Lombardini. *Dell' origine* ecc. Atti dell' ist. Lomb. vol. VIII.

un gas estremamente rarefatto è composto di sezioni ineguali, una grande e l'altra capillare. Se si fa passare la corrente d'induzione per questo tubo, la parte capillare diviene vivacemente luminosa, mentre la larga ha appena una debole luce fosforescente: il suo colore varia colle sostanze contenute nei tubi, e il De la Rive ha dimostrato che nell'interno di questi si verificano le altre leggi termiche della propagazione della corrente, onde i fenomeni sono dovuti allo stesso principio come nei fili metallici.

Da questi fatti siamo condotti a concepire la corrente elettrica come un vero flusso di materia, che passa pel conduttore, la cui velocità cresce al restringersi della sezione; ma da ciò solo non può decidersi se sia essa flusso di materia imponderabile, o della ponderabile.

Quelli che concepiscono la corrente come dovuta all'imponderabile, spiegano la luce e il calore mediante l'attrito e lo scotimento che produce la corrente eterea nella materia ponderabile. Gli altri ammettono che sia un trasporto di materia o dei reoferi stessi, o almeno di quella del conduttore che vibrando produce luce. Siccome nei tubi a gas rarefatti il colore della luce varia colla sostanza in essi racchiusa, perciò è chiaro che non solo i reofori vi hanno azione, ma anche la materia stessa che li riempie. Quindi volendo che tutto sia effetto di materia ponderabile è necessario ammettere che la luce sia dovuta a una attenuazione de'reofori e del mezzo stesso. Un'azione di questa specie, esiste certamente, perchè i tubi si coprono di veli più o men foschi, e le sostanze si alterano assai entro di essi, ma con ciò non si esclude necessariamente l'intervento della materia imponderabile.

Ad ogni modo però le suddette leggi sono inconciliabili con una teoria qualsiasi di un mero moto vibratorio analogo a quello che costituisce nella sola materia ponderabile il calorico, o all'altro che potrebbe immaginarsi simile al propagarsi di un moto luminoso in un mezzo dia-

fano assorbente. La sola cosa che può ammettersi è che il moto si faccia bensì talora a ondate, ma sempre con vero trasporto.

Siccome queste teorie vibratorie hanno avuto illustri fautori, non sarà fuor di luogo mostrare la loro insufficienza. In fatti in tale teoria non può spiegarsi come il moto si rinforzi al restringersi della sezione, il che è contrario a quanto vediamo in tutti i moti vibratorii a noi conosciuti, siano essi longitudinali come nel suono, o trasversali come nell'acqua e nella luce. Questi moti incontrando un ostacolo che restringa la sezione del mezzo, si riflettono dentro la massa stessa, ma non si compenetrano mai nel pertugio aperto; ciò è proprio solo de'flussi che accelerano la velocità tanto più, quanto si restringe la sezione degli alvei o canali. Un aumento di intensità di moto può aver luogo nelle onde longitudinali, come nelle onde del mare, quando rotte a mezzo esercitano una pressione maggiore da una parte della sezione che dall'altra, ma questo è un caso che spetta più ai moti traslatorii che ai vibratorii, e vedremo che non va escluso dai moti dell'elettrico. Anche nelle sbarre esposte a una sorgente calorifica vediamo che il moto al restringersi di una sezione non si rinforza, nè acquistano mai ivi temperatura superiore a quella del tronco superiore più amplo, mentre nell'elettrico succede il contrario, poichè vediamo i fili per piccola differenza di sezione scaldarsi fino a fondersi.

È vero che studiando le leggi della propagazione dell'elettrico nei conduttori lunghissimi si è giunto a formole simili a quelle della propagazione calorifica; ma 1.° tali formole e tali risultati non sono simili che in alcuni punti: 2.° riguardano solo ciò che si riferisce alla tensione, del che parleremo a suo luogo, e può dirsi che quelle formole partendo tanto nel caso dell' elettrico che del calore dal principio comune, che la comunicazione della forza da elemento a elemento si faccia in proporzione dell' eccesso di

carica che ha uno sopra l'altro, i risultati devono esser gli stessi, ma ciò non basta a stabilire la natura della forza stessa, nè a provare che sia mera vibrazione.

L'idea poi che il calorico sia eccitato nel conduttore dall'azione vibratoria al modo stesso con cui si scalda dalla luce nel suo passaggio un corpo diafano, è semplicemente confutata dalla ragione precedente, che non si rinforzerebbe mai tal moto nelle sezioni più strette. Inoltre che in tal caso l' assorbimento dovendo essere in proporzione geometrica quando cresce il tragitto in progressione aritmetica, la temperatura dovrebbe essere decrescente nel filo colla distanza dalla sorgente, il che non si verifica in generale. E se pure in qualche caso nei primi momenti della chiusura del circuito la temperatura è diversa nelle varie sezioni, a circuito stabilito ciò non accade, ed è ben facile anche in tal caso dare la spiegazione del fatto nell'ipotesi della traslazione reale della materia.

Ci pare quindi abbastanza giustificata l'idea commune della *corrente*, che essa cioè consista in un vero flusso di materia nel filo conduttore.

Ciò si conferma dal complesso de'fatti che accompagnano la propagazione delle correnti, in cui si verificano le condizioni stesse che accompagnano il corso dei fluidi ne'canali. L'esperienza ha comprovato che l'intensità I delle correnti è sempre in ragione diretta della forza elettromotrice, ossia della tensione elettroscopica E, e in ragione inversa dalle resisténze, tanto interne alla pila R che esterne del circuito r, talchè si ha,

$$I = \frac{E}{R + r}.$$

La resistenza esterna cresce in ragione diretta della lunghezza del filo e inversa della sua sezione, e si diportano questi elementi al modo stesso che le resistenze ordinarie de'tubi, salvo che qui la resistenza è proporzionale non al solo perimetro della superficie, come ne'liquidi, ma a tutta la sezione, per

la ragione che il torrente elettrico investendo tutta la massa da tutte le molecole soffre resistenza. La resistenza però non è specificamente la stessa per tutte le sostanze, e una differenza di sezione in una è equivalente alla facoltà conduttrice maggiore che ha un' altra. Così p. e. un filo di platino resiste 11 volte, e il ferro 7 volte più del rame. Questa maggior resistenza tiene le veci di una sezione minore, e soddisfa a tutte le condizioni di quella. Così una corrente capace di arroventare un finissimo filo di rame, ne arroventerà uno molto più grosso di platino: e tal corrente passerà con iscaldar pochissimo un filo di rame o di argento, mentre ne fonderà uno di platino.

Il calorico pertanto sarebbe generato nei conduttori dalla corrente per l' attrito ed agitazione che vi produce il flusso che invade le molecole, essendo indifferente per ciò che il flusso sia di materia ponderabile attenuata o di etere. La piccolezza somma delle oscillazioni che queste concepiscono fa che si possa considerare la velocità communicata come proporzionale alla semplice velocità virtuale della corrente, onde è che la temperatura, che è il lavoro eseguito, diviene proporzionale al quadrato di questa stessa velocità. Gli studi di M. Marié Davy hanno comprovato direttamente tal conclusione (1).

Gioverà molto a conoscere la natura del flusso lo studiare i fenomeni luminosi che si presentano nella interruzione dell' arco scaricatore. Questi fenomeni sono variati all'infinito, noi cercheremo di ridurli ad alcune classi fondamentali.

1.° Quando si fa una larga interruzione nell'arco che congiunge i cuscinetti della macchina al conduttore, si ha la ben nota forma di scarica luminosa a pennacchio all'estremità positiva, e in forma di stelletta alla negativa. Queste luci

(1) V. M. D. *Recherches thèoriques* ec. Paris 1862, e Thomson *philos. Trans. an* 1856 pag. 650 nota.

guardate per riflessione in uno specchio rotante non sono continue, ma composte di minute scintille. In un mezzo rarefatto sommamente, qual è nel recipiente della macchina pneumatica, e nei tubi di Geissler, si ha una scarica stratificata, e lo stesso si trova tanto usando la pila, quanto usando la corrente di induzione, di cui diremo a suo luogo. Così pure colla boccia di Leida si trova che la scarica non è mai semplice, ma composta di parecchie diverse e quasi dirette una contro l'altra, come se vi fosse un moto discontinuo e di ondulazione

L' incandescenza delle molecole in questi fenomeni è mera conseguenza della somma agitazione da cui è animata la materia, la quale però, come vediamo in tutte le emissioni violenti, si fa sempre a ondate, come p. es. il fumo quando esce da un camino. Qui pure si ha una corrente che succede alla tensione, come il flusso di un liquido alla sua pressione. Siccome le sperienze mostrano un'apparenza come se in tal atto vi fosse una esplosione da ambedue le estremità de'conduttori, ciò ha dato luogo a supporre che siano due i fluidi in moto, uno positivo, l'altro negativo. Ma tale conseguenza non è rigorosa, perchè in fondo questi fatti null'altro provano tranne che la condensazione e lo scotimento della materia ponderabile è più forte ed energico nella prossimità delle due superficie estreme tra cui si scarica la corrente. Le figure date dal Feddersen fanno vedere che al principio e al fine la scintilla è più compatta, e che nel suo mezzo la materia è più espansa e diffusa, e per ciò meno luminosa. Talchè per spiegare la luce al capo negativo non è necessario supporre che ne esca un fluido speciale, potendo a quel capo destarsi luce e calore per la semplice percussione e agitazione che vi produce l' unica corrente positiva nell'atto del suo ingresso. Si sono arrecati come favorevoli al fluido negativo i fatti che

(1) Gassiot. *Procedings* R. Soc. London v. XII. p. 338. Feddersen *Ann. Chim. et Phys* Octob. 1863.

si osservano quando una scarica passa per più fogli di carta, in cui gli orli si vedono rovesciati, tanto verso il lato positivo quanto verso il negativo. Ma essendo questi meri fenomeni dipendenti dall'espansione dell'aria o della materia volatilizzata che si dilata in tutti i sensi, non concludono nulla pel fluido negativo. Abbiamo spesso in meccanica casi simili, in cui l'orlo di una piastra spezzata per pressione si rovescia in verso opposto alla corrente. Ho veduto le vesciche che si fanno scoppiare colla macchina pneumatica, e dei tubi di rame in una macchina idraulica spezzati per aspirazione avere gli orli rivoltati in verso opposto al corso che avea preso l'aria entrando per pressione atmosferica. Quindi svanisce la necessità del fluido negativo, almeno per ispiegare questi fenomeni.

2.° Le correnti voltiane presentano gli stessi fenomeni con semplici differenze nel grado di intensità e continuità. Quando in un punto del circuito ha luogo una soluzione di continuità, i due estremi mostrano una tensione elettroscopica, ma senza elevazione di temperatura. Tale tensione è generalmente tanto debole che non può superare la resistenza dello strato d'aria frapposto: però nelle pile di 6000 o 3000 coppie come quelle di Gassiot, la scintilla scocca da per sè a distanza sensibile. Nelle altre in molti modi può supplirsi a questa tensione iniziale, anche senza mettere a contatto gli elettrodi o reofori, cioè colla scarica di un coibente armato, o con l'aria calda di una fiamma. Ma cominciato che sia il flusso, continua da sè, perchè l'elevazione di temperatura che esso produce rende il mezzo abbastanza dilatato e conduttore, essendo legge che i mezzi più dilatati permettono la scarica con maggior facilità, e a maggior distanza. Infatti prova l'esperienza che la resistenza del nastro de' carboni è tale che esso eguaglia la metà circa della resistenza dell'intero circuito, la quale è di certo infinitamente inferiore a quella dell'aria

semplice prima della formazione del nastro lucido. Inoltre il nastro si dispone da sè al variare della corrente a modo di un reostato variabile, che si adatta alla forza della pila, talchè sempre la stessa quantità d'elettrico passa per il sistema de'carboni dando solo luce minore e nastro più corto quando la pila è più debole (1).

3.° Nella scarica oscura e tacita della pila attraverso liquidi separati da diaframmi porosi si ha trasporto dei liquidi dal polo positivo al negativo, e similmente nella scarica luminosa si ha sempre trasporto di materia che va per lo più dal polo positivo al negativo. La natura degli spettri della scintilla che usando la pila semplice non muta col variare del metallo che serve da polo negativo, ma bensì col positivo, prova che il trasporto e la volatilizzazione hanno principalmente luogo al polo positivo. A questo polo la luce non solo è più forte, ma si trova avere una maggiore intensità nella direzione della corrente, appunto come il suono si propaga con maggiore intensità nella direzione dell'esplosione. Talora può darsi trasporto nel senso negativo e ciò pel caso o di decomposizioni chimiche o per la ragione che i corpi escono dalla stessa volatilizzazione elettrizzati in senso opposto. Non è da disprezzare come argomento favorevole alla natura del flusso il fatto, che nel trasporto delle sostanze si conservano le forme de'conduttori da cui escono stampandone i contorni sui corpi che incontrano, appunto come fa una vena fluida cacciata con grande celerità. Sono famose in ciò le impronte fatte dal fulmine. Questi fatti furono studiati dal Fusinieri, che riuscì a dimostrare i trasporti della materia ponderabile a distanza notabile e per linea obliqua anche a traverso i metalli, donde si concluse che la scintilla non è mero etere vibrante, ma vera ignizione della materia ponderabile.

(1) Vedasi nel Nuovo cimento Vol. IV, la mia memoria *sulla luce elettrica* pag. 49.

4.° La scarica della pila non ha mai una rigorosa continuità. La luce eccitata nei mezzi rarefatti fa vedere delle statificazioni discontinue. Gassiot operando con una pila ad acqua di 3000 coppie, otteneva una luce sensibilmente continua quando non vi erano resistenze interposte nel circuito, ma se s' interponeva uno strato d' acqua subito apparivano le stratificazioni. Anche quando pare continua può non esser rigorosamente tale, e l'uso di specchi giranti ha in molti casi rivelata la discontinuità che sfugge all'occhio. Può dirsi della pila ciò che Feddersen trovò per le batterie, cioè che col diminuire la resistenza la scarica diviene apparentemente continua, ma allora pure si vede che si moltiplicano le linee di scarica, onde è evidente che la discontinuità su di una linea supplendo all' altra il complesso apparisce continuo. Vide egli che al principio si ha una scintilla finissima che stabilisce la continuità del circuito, dopo seguono le oscillazioni nella scintilla e nella scarica. Questi fenomeni sono molto influenzati dall'induzione di cui parleremo più tardi.

Questo fa vedere che la corrente procede per ondulazioni, analoghe a quelli di tutte le emissioni violente, e che incontrando ostacoli ha bisogno di certo tempo per accumulare forza e vincere le resistenze. Con ciò si spiegano i suoni che accompagnano le scariche: così per es. il nastro tra carboni al crescere della loro distanza dà fischio più acuto, ma insieme ancora luce più ricca di onde corte e fluorescenti, il che prova, che la discontinuità esiste non solo nell'aria ove si genera il suono, ma anche nelle pulsazioni da cui ha origine la luce.

Nei mezzi rarefatti usando le macchine d'induzione il polo negativo si scalda più del positivo (1) benchè resti oscuro: questo scaldarsi di più è probabilmente la causa del restare oscuro, perchè con ciò è più conduttore, può an-

(1) V. De La Rive *Mondes* 1863. pag. 275.

che dirsi che le molecole si scaldano più, perchè sono in minor numero al polo negativo, deponendosene una parte sulle pareti del tubo durante il tragitto. In tutte queste luci che in fondo non sono diverse da quelle che si hanno nell'aria, salvo per la maggior facilità di trasmissione, le forme sono moltiplicate all'infinito. Ma talora le apparenze diverse che si hanno ai due poli non possono nulla concludere di positivo sulla questione della corrente, essendo esse dipendenti da una infinità di circostanze, la cui influenza è spesso indeterminabile, ed è mescolata l'incandescenza permanente delle materie staccate con quella del mezzo circostante in cui accade la scarica, e inoltre vi è la reazione dell'induzione, e la persistenza delle imagini nell'occhio.

La conclusione generale è che il polo positivo è quello da cui partono i trasporti e dove si ha sempre la maggior energia luminosa e la maggior lunghezza del getto, e che sul negativo si ha sempre estensione di luce ed intensità minore, quando trattasi di corrente semplice non complicata dalle reazioni dell'induzione, talchè *la direzione reale del flusso deve considerarsi andare dal polo positivo al negativo.*

Merita speciale attenzione il fatto già accennato § 1, stabilito dalle sperienze di Gassiot, secondo le quali nel vacuo assoluto finora la scarica elettrica non si è potuta far passare. Ma per fare un vacuo capace di tale resistenza è mestieri usare molte cautele, e singolarmente escludere non solo i gas, ma anche i mastici comuni, ed empire più volte e votare successivamente i recipienti con acido carbonico, e dopo averli esauriti colla macchina pneumatica assorbirne il resto colla potassa. Un debole riscaldamento di questa basta a lasciar trasmetter la luce e la corrente, perchè si volatilizza un poco di materia per l'azione calorifica. Questo fatto è assai importante, perchè mostra le necessità della presenza della materia ponderabile per dar passaggio alla corrente. Ma il concludere da ciò

solo che non v' entra per nulla l' elemento imponderabile, nel senso da noi più volte spiegato, è andare al dì la de'fatti, perchè essi non dimostrano punto l'impossibilità di tale intervento. La facoltà isolante del vacuo, per quanto è conosciuta finora, non è d'ordine diverso da quella che ha luogo nei corpi diafani, e perchè un mezzo debba essere isolante basta che la corrente sia un moto longitudinale, onde essa non potrà mai passare per que' mezzi che sono soltanto capaci di vibrazioni trasversali, come i corpi diafani, secondo che insegnano i fenomeni della luce e come sappiamo accadere nell' etere libero eminentemente. All' incontro nell' interno de' corpi ponderabili, e specialmente de'metalli, l'etere dove più, dove meno, deve essere suscettibile di moti longitudinali e quindi la presenza della materia ponderabile diviene un requisito alla propagazione della corrente, senza escludere a vero rigore che in essa possa aver parte l'etere. Almeno sempre può domandarsi qual'è la forza che caccia con tanto impeto questa materia a cui nulla può resistere? Se la corrente è mera materia commune come concepisce essa questa velocità? La forza ripulsiva da cui proviene deve esser ben più energica di quella che produce l'evaporazione e la sublimazione de'solidi, giacchè questi fenomeni sono dagli elettrici ben diversi. Il Fusinieri stesso ammise questa differenza chiamando tal forza « calorico nativo (1). » Studiando l'origine della corrente verremo in chiaro della parte che aver può nei fenomeni l' una o l' altra materia.

(1) V. Fusinieri *Ann. delle sc. del R. Lomb. Ven. Tom. III pag.* 38 ec. Questo fisico ebbe fra i primi il coraggio di parlare alto contro la turba degli imponderabili e delle forze astratte e precorse su ciò i lavori de'moderni di molti anni. Il suo linguaggio talora troppo duro, gli suscitò avversarii, ma in esso mostra una convinzione profonda di opinioni che in molti punti le scoperte posteriori hanno giustificato. Se a suoi tempi fosse stata meglio conosciuta

Dalle cose esposte finora si conclude che la corrente è certamente un flusso di materia con direzione dal polo positivo al negativo, se però sia di sola materia ponderabile o di etere misto all'imponderabile, la questione è fin qui indecisa, ed è mestieri risolverla con altri argomenti.

§. 4.

Dell'origine della corrente nella pila

I fatti esposti finora ci conducono a considerare la pila a circuito chiuso come una macchina in attività, nella quale, come in tutte le macchine in moto a regime costante, esiste un equilibrio tra il lavoro attivo o la forza generata in un organo, e il passivo o la resistenza vinta in un altro. Il primo lavoro si trova nell'elettromotore medesimo, il secondo nel conduttore. L'alterazione chimica dei corpi che formano l' elettromotore è la vera sorgente del lavoro attivo: il contatto a cui altra volta si è attribuito, può essere una condizione che agevoli o permetta la circolazione della materia, ma, non può esser la sorgente di una forza viva, che così nascerebbe dal nulla. Il lavoro della corrente, tanto attivo che passivo, può esser termico o meccanico o chimico, ora parliamo dell' ultimo.

Non vi è corpo composto in natura che in opportune condizioni non ceda alla forza della corrente e non si scomponga, e a questa potenza deve la chimica gran parte della sua rigenerazione. Per lo più i corpi da decomporsi sono liquidi o almeno sciolti in un liquido non isolante che ordinariamente è l'acqua. L'azione chimica deve considerarsi pertanto sotto un doppio rispetto, cioè 1.° nel circuito esterno,

la natura della luce, probabilmente non avrebbe spinto le conseguenze al punto che fece. Ma ciò non toglie che non debba veramente annoverarsi fra i fondatori delle moderne dottrine.

2.° nell' interno della pila stessa. In quanto all' azione esterna la misura dell' azione chimica di una corrente si desume dalla quantità degli elementi di un composto che sono separati, come p. e. l' ossigene e l'idrogeno dell' acqua coi loro relativi volumi, o se non sono corpi gassosi, da uno solo di essi, come è il metallo ridotto dalla corrente, p. e. il peso del rame avuto dal solfato ecc.; nell'usare le quali misure però si esigono varie cautele di cui trattano i pratici. La prima legge che si rileva dai fatti è che *l'azione chimica è proporzionale all'intensità magnetica della corrente misurata colla bussola, e in qualunque punto del circuito essa è la medesima.* Questa legge riunisce insieme le due azioni in modo che una può sostituirsi all' altra: e come dividendo la corrente tra due reometri si ha in ciascuno una deviazione tale che la somma delle due equivale alla corrente totale, così dividendo la corrente fra due misure di decomposizione si avrà nei due simultanei una somma di prodotti d'analisi eguale a quella che si troverebbe in uno solo intercalato.

Nella misura dell'azione chimica però entra necessariamente il tempo, e sono correnti eguali quelle che in pari tempo producono quantità di materie scomposte eguali, e sarà doppia quella che ne produce quantità doppia ecc. La resistenza o conducibilità del mezzo in cui succede l'analisi non influisce, se non in quanto aumenta o diminuisce il flusso generale dell'elettricità, come lo mostra la deviazione magnetica. La legge che l'azione è la medesima in un punto qualunque del circuito ha pure luogo dentro la pila stessa come parte del circuito, e qualunque sieno i lavori che si fanno nelle altre sezioni: il tutto appunto come si vide aver luogo nè fenomeni elettrodinamici. Consideriamo dapprima l' azione chimica nell'interno della pila, e poi in rapporto coll' esterno.

Le combinazioni voltiane si possono fare in modi infiniti, variando liquidi e metalli, ma non tutte sono egual-

mente proprie a chiarire la teoria. Nella maggior parte delle combinazioni hanno luogo delle azioni chimiche parziali nell' interno della pila che complicano la regolarità dell'azione. Escluse che sieno queste, colla scelta di opportuni materiali, si verifica *che tanto nell' interno della pila in ciascuna cellula, quanto tra i reofori ha luogo la stessa azione chimica*, in modo che misurando l'idrogeno messo in libertà in un elemento, si trova eguale a quello che si libera in un voltametro intercalato. Ottima per ciò è la combinazione di zinco distillato o almeno amalgamato, col platino platinato ed acido solforico. In molte combinazioni ciò non si verifica e allora si dice esservi azione locale.

Prescindendo da questa e supponendo eguali le coppie in superficie, ne segue che la somma dell'elettrico messo in moto nella pila è proporzionale al numero delle coppie stesse : ma siccome al moltiplicarsi di queste si moltiplicano anche le resistenze degli strati liquidi in egual numero, così la quantità di corrente circolante non cresce col numero delle coppie. Per intendere però come il numero delle coppie senza accrescere la corrente contribuisca a produrre certi effetti a cui una sola non basta, giova considerare lo stato virtuale della corrente, e riconoscere che s' intenda per forza elettromotrice.

Quando si prepara una combinazione voltiana, i metalli immersi nel liquido prima che si chiuda il circuito non sono più in istato naturale, ma mostrano una tensione elettroscopica, alla quale per gran tempo si ridussero gli studi dello scopritore e de'primi fisici. È il valore di questa tensione elettroscopica che costituisce propriamente la forza elettromotrice. Essa è diversa nelle varie combinazioni : così se quella di Daniell dicasi 1000, quella di Bunsen sarà di 1500 e così delle altre (1). L'intensità ef-

(1) Fra le molte determinazioni sceglieremo le nostre fatte nel 1856 V. N. Cimento Vol. IV. ma colla forza degli acidi variano questi valori.

fettiva di una coppia, cioè la deviazione magnetica, o la forza analitico-chimica di cui è capace, è in ragione diretta di questa tensione e inversa della resistenza interna, e si esprime per

$$I = \frac{E}{R}.$$

Se vi sia una resistenza estranea all'elemento, per esempio un filo o un voltametro *di valore ridotto r* (1), l' intensità diventerà

$$I = \frac{E}{R+r}:$$

si vede da ciò che moltiplicando le coppie, finchè resta *r* nullo, I non varia, essendo

$$\frac{n\,E}{n\,R} = \frac{E}{R},$$

ma invece si scorge che si avrà gran vantaggio se vi sia una resistenza addizionale, perchè il valore diviene

$$I = \frac{n\,E}{n\,R+r}.$$

La tensione elettroscopica nella pila è la base fondamentale della sua energia, e la pila supera le altre sorgenti note di elettrico per la celerità con cui è capace di ristabilire la tensione in un tempo brevissimo. Non però la sua potenza è infinita, come ben sanno i telegrafisti, talchè nella pratica è più pronta p. es. una pila di Bunsen che una di Daniell, e questa più che una ad acqua semplice.

Nello scopo del nostro trattato interessa sommamente di

(1) Non basta tener conto della lunghezza dei fili metallici, bisogna anche tener conto della loro temperatura, la qual cosa cominciammo a fare avvertire noi nel lavoro *On electrical Rheometry* pubblicato nelle *Smithsonian Contributions* nel 1849.

La tensione può determinarsi dinamicamente colla formola intercalando una resistenza *r*, o elettroscopicamente.

La quantità E sembra essere propriamente la misura dell'espansione elettrica in moto (V. Mem. sulla luce elettrica pag. 69).

conoscere la relazione che passa tra la tensione e la corrente.

É manifesto primieramente che in ogni caso la prima sta alla seconda come nei fluidi la pressione sta alla flussione, perchè nella pila cessa ogni tensione appena comincia la corrente. Se prendiamo per maggior semplicità una di quelle combinazioni che sono più esenti da azioni locali, come p. es. la pila di Smee, fatta con platino platinato e zinco amalgamato, vedremo che prima che siano congiunti gli estremi della coppia o della pila con un conduttore si ha una forte tensione opposta ai capi. Se ben si considera questo fenomeno della tensione permanente in un aggregato di corpi conduttori come la pila, esso è assai singolare, e affatto diverso da ciò che accade negli ordinari fenomeni dell'elettricità statica, perchè quantunque manifestamente esista una via commodissima di ristabilimento dell'equilibrio attraverso il sistema stesso, pure tale neutralizzazione non accade. E meritamente restarono sorpresi i primi fisici in vedere uno squilibrio tale di elettrico persistere nei due capi di un corpo deferente. Ma appena chiuso il circuito non sòlo cessa la tensione, e comincia la circolazione, ma la quantità di questa può regolarsi con la varia lunghezza del filo.

Questo fatto dà luogo ad alcune riflessioni importanti per la teoria. 1.° La tensione elettrostatica che hanno le piastre prima dell' unione, mostra che l' azione elettrica è già sbilanciata prima della congiunzione, il che non può esser per altra cagione che per l'azione chimica stessa, che resta direi quasi incoata , e che per proseguire ha bisogno della comunicazione dell' arco conduttore.

2.° La tensione elettrostatica che varia nelle coppie al variare dell'elemento negativo (rame, platino, carbone ec.) mostra che questo non è senza azione, nè è mero conduttore come alcuni sostengono : sia che esso faccia ciò per un' azione chimica contraria, sia che agisca per altro principio.

3.° L'ufficio di regolatore della corrente fatto dalla lun-

ghezza del filo, ci mostra, che non può farsi maggiore azione nell'interno del liquido di quanta se ne permette il passaggio dal filo stesso, e che il limite superiore sarebbe quello di un filo brevissimo o nullo, cioè di un contatto diretto, molecola per molecola, col che si ricade nell'azione chimica ordinaria delle molecole messe al contatto. Quindi non senza ragione potè dire Faraday, che la corrente era *un' azione chimica circolante*; e noi potremmo aggiungere, che l'azione voltiana mostra in masse finite e in circuiti misurabili ciò che avviene nell' interno de' corpi eterogenei messi a contatto nel momento della chimica azione.

Così la spiegazione della natura ed origine della corrente è ridotta a quella delle azioni chimiche. Però vuolsi osservare che realmente l' azione chimica *latius patet* che la corrente; perchè è vero che per certe combinazioni di materie l'azione chimica è tutta trasmessa per l'arco conduttore, onde non ha luogo senza l' arco stesso, ma in molte altre ciò non accade affatto, talchè gran copia dell'elettrico svolto che in una combinazione si misura, in un'altra non si può misurare (1). Quindi l'azione chimica nella pila può soltanto compararsi a certa specie di azioni chimiche, dette catalittiche in cui interviene un terzo corpo il quale resta effettivamente non combinato, ma però ha una influenza decisa nell'azione, e tale sembra essere l'elemento negativo nella pila.

Il complesso de' fatti finora conosciuti dai fisici conduce a questa conclusione « che esiste nella pila una causa di squilibrio interno permanente, ma che per sè sola que-

(1) Prova di ciò può aversi in una serie di sperimenti esposti nella citata mem. *Sulla luce elettrica* v. IV. pag. 64 del N. Cimento Un elemento Bunsen a piccola resistenza addizionale dà un integrale di forza molto maggiore che uno di maggior resistenza interposta. Tutto non si può attribuire alle perdite, perchè i vi furono valutate e trovate molte inferiori al difetto. Despretz pure trovò sempre una differenza tra il lavoro interno e l'esterno anche nelle pile di Daniell.

sta causa non è sufficiente a fare che si ristabilisca l'equilibrio per mezzo del liquido stesso, e che si richiede l'aiuto di un secondo corpo conduttore messo in connessione col primo perchè progredisca l'azione chimica: l'arco comunicatore regola di fatto l'energia dell' azione colla quantità di elettrico di cui esso permette il passaggio da un elemento all'altro. »

La spiegazione di questi fatti non si può tentare che in tre ipotesi: 1.ª Supponendo che l'azione chimica determini un moto moleculare, o una vibrazione nei corpi messi in reciproco contatto, per esempio zinco e acqua acidulata, per la quale ne venga eliminato l' idrogeno e che questo moto vibratorio passi nel circuito. 2.ª che una parte delle materie ponderabili messe a fronte si costituiscano in istato di attenuazione e si slancino nel conduttore e formino ciò che dicesi corrente. 3.ª Che sia realmente l' imponderabile stesso costitutivo de' corpi, quello che trovandosi disequilibrato per la contiguità delle sostanze eterogenee , nell'atto che si produce l'azione chimica vada a ristabilirsi in equilibrio in parte o in tutto per la via del conduttore come per un canale.

La 1.ª ipotesi darebbe alla corrente un carattere escluso già nell' articolo precedente, salvo il caso in cui si volesse che tal vibrazione fosse accompagnata da trasporto; ma allora si cadrebbe realmente nella 2ª o 3ª ipotesi.

La 2.ª suppone che la corrente sia esclusivamente formata di materia ponderabile attenuata. Ciò a rigore è difficile dimostrar falso, stante la continua agitazione moleculare de' corpi e la loro riconosciuta porosità, dimostrata perfino nei più compatti metalli, ferro e platino, che riescono penetrabili ai gas stessi con tanta forza espansiva da superare la pressione atmosferica, non che alla materia più sottile (1). Onde a tutto rigore potrebbe essere che la forza repulsiva

(1) V. Deville e Troost *Mondes* et *Comptes Rendus* 17. Decembre 1863.

da cui sono animate le molecole nell'atto dell'azione chimica, determinasse un vero flusso da elemento a elemento della materia pesante medesima e che così per questa forza si costituisse la corrente. Ma se tal cosa non è impossibile, però sembra che bisognerebbe ammettere tal materia in uno istato di attenuazione tale da non presentare più i caratteri della materia ordinaria. Infatti nei fili lungamente percorsi dalla corrente si riconoscono bensì i segni di una violenta agitazione, che ne ha mutato la struttura moleculare, ma non si trova aumento di peso, nè si scorge mista la sostanza di due conduttori contigui, il che dovrebbe accadere si vi fosse qualche trasporto di materia ponderabile lungo il filo. Le sperienze di Fusinieri hanno dimostrato è vero che talora una sostanza per una scarica di gran tensione può attraversare una piastra metallica meccanicamente: ma questi sono casi di tensioni enormi, e si tratta di piccole spessezze, e pure sono stati messi dei dubbi sulla realtà di quei trasporti. Ma anche ammessi che siano, sono troppo differenti da quelle le condizioni degli esperimenti usuali per potersi comparare ai trasporti nella pila. Io non so se i patrocinatori di questa teoria vadano fino ad ammettere una attenuazione a tal punto: quello che sò è, che consultando l' esperienza vediamo che quando vi è materia trasportata essa ritiene la sua natura chimica e ponderabile, quindi tale ipotesi sotto questo rispetto non sarebbe appoggiata dai fatti.

Ma, se si guarda bene, in tale ipotesi la difficoltà di assegnare la genesi della corrente si allontana, ma non si toglie, perchè può domandarsi: per qual ragione messo un corpo attaccabile in un liquido deve uscirne tanto movimento e tanto distacco e attenuazione di parti? Bisogna almeno supporre una inegualianza nello stato ripulsivo degli elementi costitutivi delle molecole che dovendo mettersi in equilibrio sieno causa di tutto questo trambusto: e tale spinta deve essere una immensa energia, poichè arriva a farsi strada per lunghissimi ed angustissimi canali quali sono i fili sottilissimi

de' conduttori, lunghi talora migliaia di miglia. Noi qui restiamo affatto all' oscuro sulla causa di tali fenomeni. Quindi benchè siam lungi dal credere assurde tali idee, ci pare tuttavia che il sostituirvene altre che meglio fossero in accordo con quanto sappiamo sul resto delle azioni molecu-lari, non sarebbe malfatto. E tale ci pare la 3.ª ipotesi, la quale però se ben si considera non differisce nel fondo della 2.ª, perchè le molecole che risolvonsi in minimi in istato di attenuazione e che acquistano tanta espansione, potrebbero bene esser le molecole della materia ponderabile stessa circondate dall' altra materia attenuata, cioè nel suo stato atomico semplice, che costituisce ciò che noi diciamo etere.

Così per intendere quello che si passa nella propagazione della corrente elettrica non si ha che da applicare i principii già esposti per il calorico e per la luce. Infatti dai fenomeni luminosi siamo stati condotti ad ammettere che in tutti i corpi, non esclusi i metalli, esiste l'etere a diverso grado di densità, e che ciascuna molecola può considerarsi come circondata da un atmosfera o vortice rarefatto. Nel momento del venire a contatto tali molecole in istato libero ad ogni moto, come è il liquido o il gassoso, necessariamente l' atmosfera di una deve confondersi coll' atmosfera dell'altra. In tale collisione ed avvicinamento abbiamo detto 1.° che ogni qualvolta le molecole ineguali si uniscono, si desta calorico, ossia si rende disponibile una porzione di forza viva sotto forma di calorico (V. pag. 114). In 2.° luogo che l' atmosfera del nuovo sistema risultante può esser composta di etere in copia differente dalla somma delle due componenti (V. pag. 179.). In tal caso è evidente che una porzione dell'etere dovrà trasportarsi da molecola a molecola, finchè l'eccesso sia scaricato, e il difetto compensato. Lo sbilancio che dà origine a questo movimento potrà essere iniziato o favorito dalla natura de'solidi affacciati, i quali posti a contatto potrebbero avere il loro etere naturale costitutivo disequilibrato. Unendosi pertanto l' azione di questi a quella

del metallo sul liquido, potrà attivarsi quell'azione chimica continua che senza di essa resterebbe meramente limitata al primo strato del liquido, e che non avrebbe forza di proseguire a sbilanciare le atmosfere del resto. Così si capirebbe l'ufficio dell'arco conduttore, perchè quando lo zinco è unito al rame con arco continuo, il difetto di elettrico di cui sono cariche le molecole di uno degli elementi può per l'arco stesso scaricarsi attraverso al filo ed andare a ristabilire lo stato neutro. Tale circolazione dura finchè dura la presenza delle sostanze che si combinano e dicesi *continua*, ma evidentemente essa deve procedere per minime oscillazioni di trasporto da sezione a sezione, la quale oscillazione sempre si manifesta nella scarica delle pile anche le più onergiche, almeno finchè dura lo stato iniziale del movimento. In fine si comprende facilmente come una resistenza nell'arco conduttore anche in un sol punto diminuisca in tutto il circuito la quantità circolante, essendo questa una proprietà di tutti i corsi de' fluidi, che dovendo esser la stessa la massa circolante in tutte le sezioni, ove una di queste offra una resistenza, tutto il corso resta modificato.

Può anche da questa teoria arguirsi che non in tutte le combinazioni voltiane riuscirà egualmente facile il raccogliere per dir così tutto l' elettrico, o incanalare l' etere che passa da molecola a molecola nella combinazione chimica che si eseguisce, ma bisognerà escludere quelle disposizioni d' elementi in cui sia tanta la forza d' azione tra il liquido e il metallo, che basti ad equilibrarsi immediatamente da sè tra molecola e molecola; e invece adottare quelle in cui la potenza non sia sufficiente da sè a proseguire l'azione, ma gli occorra perciò l'influenza di un terzo corpo per coadiuvare l'azione del primo. Così è sommamente opportuno lo zinco purissimo o amalgamato, ma non sarebbe egualmente buono il potassio, perchè questo non ha bisogno di chi l'aiuti a distruggere la composizione della molecola d'acqua per unirsi all'ossigeno cacciando l'idrogeno. Talchè quantunque ogni

corrente presupponga un' azione chimica, non ogni azione chimica sarà completamente risolubile in corrente, in quanto cioè l'etere costitutivo delle singole atmosfere moleculari non potrà costringersi a passare per un terzo corpo che formi l'arco scaricatore. Così pure nel filo non passerà tutto il calorico, ma generalmente parlando solo una frazione della totalità, cioè quel tanto che si comunica al filo mediante l'elettrico in moto.

I liquidi stessi eterogenei, per l'affinità chimica onde tendono a combinarsi gli uni cogli altri, potranno contribuire allo svolgimento del corso dell' elettrico in una medesima direzione coi metalli, e aiutarne l'azione. E lo stesso dicasi di altre azioni secondarie che avvengono tra i corpi posti a fronte nella pila, onde da queste circostanze riunite insieme dipenderà il vantaggio pratico di una combinazione voltiana, che non sarà sempre in proporzione della mera azione chimica che accade nel liquido. Gli sperimentatori hanno a preferenza studiato alcune combinazioni in cui realmente si trova che l'azione esterna è eguale al lavoro interno, ma anche in queste si è già veduto esservi non dispregevoli eccezioni e che in molti casi tale eguaglianza non si verifica. Ciò comunemente si rigetta sulle così dette *azioni locali*, e ciò è giusto, perchè l' esperienza lo prova in alcuni casi, come p. es. per lo zinco impuro: ma potrebbe domandarsi, perchè non dovrebbe accadere altrettanto almeno usando zinco puro e acido nitrico invece del solforico allungato, poichè il primo avendo azione più energica dovrebbe dare corrente più abbondante? Ma la ripresa è facile; ciò non succede per la ragione stessa appunto detta di sopra, per cui non sarebbe da usare il potasio invece dello zinco.

Quelli che attribuiscono le azioni chimiche alla espansività delle due materie ponderabili poste a fronte, che attenuate nella superficie di contatto si riuniscono per formare un terzo corpo, devono necessariamente ammettere una forza astratta per spiegare le azioni chimiche, e inoltre

per spiegare l'influenza dell' arco conduttore adottare l'ipotesi che l' agitazione molecolare o lo squilibrio prodotto nella materia attenuata si ristabilisca per mezzo dell'arco stesso.

Quindi non isfuggono quelle forze astratte contro cui generalmente essi combattono, e sono ridotti ad ammettere la materia stessa che scorre ridotta a condizione tale che la somma sua dissoluzione la rende spoglia delle proprietà che caratterizzano i corpi ponderabili conosciuti, ipotesi che non differisce fuorchè nel nome da quella che ammette l'etere.

Quindi concludiamo, che almeno per ora, la maniera più semplice da capire i fatti è quella che ammette, che oltre l'urto della materia ponderabile abbia luogo anche uno squilibrio della imponderabile frammista, la quale costituisce la vera corrente.

Questa maniera di ravvisare l'azione generatrice della corrente, concilia in certo modo le due opinioni più rivali su questo soggetto, cioè la *teoria chimica* e quella del *contatto*. Certamente quest'ultimo, *come tale*, non può esser causa della corrente più che nol sia l'apposizione di un tubo a un recipiente, il quale se è condizione *sine qua non* si ha flusso, esso però non lo cagiona. E tale realmente era l' idea de' primi elettricisti che sostennero quell'opinione. Ammettevano essi che ogni sostanza avesse certa dose di elettrico naturale che al grande ravvicinamento e al contatto si squilibrasse per passare a costituire un nuovo stato d'equilibrio, producendo direttamente una corrente e poscia essendo questa impedita di fluire, si avesse la tensione. Però tal causa poteva considerarsi come un impulso dato al principio e non mai era sufficiente a continuare il lavoro. Tale tensione iniziale nei metalli sembra esser stata messa fuor di dubbio, da esperimenti esenti da ogni obiezione e in cui non vi era azione chimica percettibile, come furono quelli di Mariannini prima, e poi di Gassiot, i quali hanno provato che un grande avvi-

cinamento può squilibrare l' elettrico (1). Per spiegare questi fatti si è ricorso dagli avversarii ad azioni chimiche dell' aria secca su tutti i metalli, anche i meno ossidabili, come oro e platino, o ad altre cose simili. Ma non essendo queste cause apparenti, si ha il dritto di crederle non esistenti, ed escono dal dominio della filosofia empirica.

D' altra parte alla teoria chimica della pila sempre può domandarsi : *Ma, e qual' è in ultima analisi la causa di questa azione chimica?* non deve essa risiedere nella diversa costituzione moleculare o eterea de' corpi che affacciati a grandi vicinanze e ridotti al contatto si turba e dà luogo al flusso elettrico? e con ciò non si ha un' influenza di contatto? ecco dunque che le due teorie intese colla debita logica non sono punto contrarie , e quindi è inutile discutere l' immensa quantità di fatti allegati pro e contra. Vi è solo la differenza che a quelli i quali dicono che l'azione chimica dipende dalla condizione moleculare, resta loro a spiegare in che consista questa costituzione moleculare. Se per spiegarla ci diranno che consiste nella *polarità*, noi insisteremo per sapere in che consista questa polarità, perchè se si giudica dalle idee comunemente annesse a questa parola, essa si ridurrebbe alle forze dirette a centri fissi, che sono incapaci assolutamente a spiegare i fenomeni delle correnti, e sono sempre forze astratte che nulla dicono in sostanza, fuorchè che il fatto stesso in termini convenzionali.

Di questa forza di *polarizzazione* si fa grand uso da alcuni del resto degnissimi autori e grandi sperimentatori, ma quando si vuol precisare in modo pratico che cosa essa sia fuor di termini astratti, si è condotto al disquilibrio dell'elettrico naturale in certo modo che è tutto ipotetico, e che se è ingegnoso, non è però dimostrato più che le altre ipo-

(1) V. Per Mariannini le sue memorie in più luoghi, e per Gassiot il *Mondes* 17 Decembre 1863 pag. 577.

tesi. Bisogna concedere che le difficoltà nei casi pratici sono molte, ma esse non escono dall'ordine de'casi ben più capricciosi dell' azione chimica, la quale col principio generale da noi annunziato tutta si comprende, benchè per dar ragione dei singoli fatti sia mestieri conoscere ogni volta come passano in ciascun caso le cose e come stanno quelle molecole e quelle atmosfere disposte o equilibrate ec., il che finora è impossibile sapere, e forse lo sarà per sempre all'intelletto umano. Per non perderci in questo labirinto teniamo fermo il principio già esposto a proposito delle chimiche azioni (pag. 113) che esse sono azioni tutte definite e che devono risolversi ancor esse in azioni meccaniche, e che la corrente ci può vantaggiosamente condurre a capire il loro stesso modo di agire.

Dal detto in questo articolo risulta che l' azione chimica è veramente la causa della corrente che circola nella pila, ma che, tranne alcune combinazioni speciali di corpi, in generale questa non è l'adequata misura di tutta la chimica azione che può aver luogo fra i componenti la pila. Che per ciò che spetta il modo di concepire la generazione della corrente, senza dichiarare insostenibile la teoria che la considera come dovuta a mero trasporto di materia ponderabile, tutto considerato però, pare più probabile che sia dovuta al moto dell'etere costitutivo de'corpi, che disequilibrato nell' atto dell'unione chimica si scarica per l' arco conduttore. Con ciò si vengono a legare le azioni chimiche colle elettriche, e vedremo a suo luogo che si viene anche a connettere con queste la costituzione fisica de'corpi, quale ce la rivela la luce, onde apparisce la ragione dell'essere certi corpi incapaci di trasmettere il moto traversale, la quale è perchè in essi il moto etereo diviene longitudinale, e viceversa.

§. 5.

Relazioni tra l' azione chimica ed il calorico nella pila.

Abbiamo veduto che la vera sorgente del flusso elettrico nei conduttori è l'azione chimica che ha luogo nella pila, all'atto che uno de' corpi si sostituisce all'altro nella composizione de'liquidi di cui è armata. Ora come in queste azioni si desta calorico, e ciò in una proporzione definita, così anche l'origine del calorico nella pila non può esser più dubbiosa , e resta solo a veder meglio le leggi della sua distribuzione nelle parti dell' elettromotore e del circuito, e a studiare specialmente la relazione che passa tra i fenomeni che accadono in ambedue.

Cominciamo dall'esporre le leggi chimiche per confrontarle poi alle calorifiche.

La legge fondamentale che regola la decomposizione de'corpi diversi nel circuito della pila scoperta da Faraday è la seguente. Se nel circuito siano intercalati diversi voltametri contenenti sostanze diverse decomponibili, i pesi degli elementi messi in libertà dalla stessa corrente in ciascun voltametro saranno in ragione degli equivalenti chimici. Così per es. per un grammo di idrogeno reso libero si troveranno 31,5 di rame, 104 di piombo ecc. Questa legge mostra che l'azione voltaica è un'azione definita e regolata dalle medesime leggi dell'affinità chimica. Le numerose azioni secondarie però che hanno luogo nell' analisi della pila, quando si usano sostanze di composizione elevata, fanno che riesca difficile il verificare la legge in tutti i casi specialmente nell'elemento positivo: ma il Becquerel provò che essa si trova vera sempre per gli elementi negativi, e così comprende indirettamente il caso dei positivi. Può quindi stabilirsi come legge generale che « l'azione elettrolitica della corrente è in ragione degli equivalenti chimici ».

Questa legge è parallela a quella che fu trovata pel

calorico, il quale produce eguali aumenti di temperatura in masse chimicamente equivalenti (1): talchè equivalenti chimici, termici, ed elettrolitici possono gli uni convertirsi negli altri con proporzioni costanti. La determinazione di questi equivalenti se voglia farsi con precisione è lavoro arduo, ma per darne un idea, diremo che le nostre esperienze ci hanno provato che una pila di Bunsen di 30 elementi che produce una bella luce elettrica, ed è capace di decomporre 0^{grm} 106 d' acqua per secondo, e di alzare di 1.° centigr. 38^{grm} d' acqua nello stesso tempo, ossia dà 0,038 di caloria, che rappresenta un lavoro dinamico di 6,12 chilogrammetri (2).

Usando la pila a zinco puro e acido solforico ha luogo la legge seguente. « La quantità totale del calore svolto dalla combinazione chimica ordinaria, eguaglia quella che si ha per via voltaica, ma in questa il calore svolto si trova in parte nella pila in parte nel circuito, e quello di una parte è complementario dell'altro: talchè vale sempre l' eguaglianza:

Calorico totale di combinazione =
calorico nella pila + calorico nell'arco conduttore. »

Che se nell' arco si eserciti un' azione meccanica, p. es. mediante una macchina magneto-elettrica, si trova minore il calorico dell' arco; ma convertendo in calorico il lavoro meccanico mediante l'equivalente solito (v. cap. I. §. 3.) si ottiene il residuo che mancava; come è stato verificato da Favre con delicate sperienze. Però secondo Soret il calore assorbito nel lavoro meccanico non è un mero impre-

(1) V. sopra Cap. I. § 13. pag. 99.

(2) Questo fa vedere che piccola potenza possano avere le macchine elettromotrici per un dato consumo di zinco: questa sarebbe la forza di un dodicesimo di cavallo. Però queste cifre sono solo approssimate.

stito fatto al solo circuito esterno e sembra reagire anche all'interno, onde occorrono nuovi esperimenti per chiarire questo punto (1). Questa legge è una mera conseguenza del principio delle forze vive, perchè se esistesse un calore nel circuito che non provenisse dall'azione chimica, questo si creerebbe dal nulla, e se si trovasse minore la somma del calorico interno e dell'esterno di quello dell'azione chimica, si avrebbe una distruzione di moto senza ragione sufficiente (2).

La decomposizione chimica è un lavoro che si fa dalla corrente, e può tener luogo del calore che si svolge nel circuito. Un bell'esempio di tale sostituzione si ha nella seguente esperienza. Se con una forte pila di Bunsen di almeno 30 elementi a grandi dimensioni, quali si usano per la luce elettrica, si prendono per reofori due fili di platino piuttosto sottili, e immergansi a poco a poco in un vaso d'acqua, al principio non si ha punto decomposizione chimica, ma invece si hanno piccole scariche luminose e la loro superficie si vede vestita da un velo o guaina lucente, che farebbe credere il filo rovente, ma che però non lo è: un leggier sibilo esce dai fili che pare effetto dell'uscita di mero vapore: intanto l'acqua si scalda rapidamente e presto arriva all'ebullizione, pel calorico svolto dalla corrente che equivale a quello di un gran nastro luminoso. Ma se si spingano i reofori dentro l'acqua, oltre certo termine, immediatamente comincia l'azione chimica, diminuisce la temperatura del liquido, e tutto rientra nelle condizioni ordinarie della decomposizione che si

(1) V. Soret *Correlation de l'elétricité* ecc. Génève 1858.

(2) Clausius dà la relazione seguente pel calore H in rapporto colla intensità I della corrente elettrica

$$H = A\, l\, I^2$$

ove A è l'equivalente del calore per l'unità di lavoro, supposto però l'intensità della corrente e la resistenza galvanica l espresse per misure meccaniche. V. B. U. *Arch. El.* 1837 tom. 36 pag. 121.

fa con piccola elevazione di temperatura, onde non può esser dubbio dell' esser questo un caso di sostituzione di azione chimica al calore. La parte calorifica in questo caso sembra doversi spiegare così. La forza calorica della corrente scalda assai il platino, essendo concentrata in piccola superficie, e se nol può realmente arroventare, perchè l'acqua sottrae continuamente calorico, esso però lo ritiene a temperatura superiore dell' ebullizione dell' acqua stessa; onde questa si conforma attorno di essa in istato sferoidale, e con ciò non lo *bagna*. Tolto il contatto immediato, non può aver luogo la scomposizione chimica ordinaria. Ma quando s'immerge più e più il filo, arriva un limite in cui la sottrazione del calorico operata dalla più estesa superficie fa che non si mantenga più il filo alla elevata temperatura dello stato sferoidale e allora succede il vero contatto, e l' azione chimica ha luogo (1). Lo stesso si ottiene dalle correnti brevissime delle batterie di Leida che mentre scaricate pei fili metallici svolgono calore da volatilizzarne lunghi tratti, quando si scaricano nell' acqua si limitano a una piccola decomposizione.

Quindi è evidente che al lavoro chimico che succede tra i poli può sostituirsi un lavoro termico o meccanico; e osserva bene il Thomson che date tre pile eguali, delle quali una decomponga un liquido, l' altra scaldi un filo, l' altra faccia un moto meccanico, se sono prive di passività interne, si avrà in tutte per ugual quantità di zinco combinato un egual misura di lavoro, che trasformato in azione meccanica comune rappresenterà l' equivalente meccanico costante del calorico. Ma come vedem-

(4) V. la Mem. sulla luce elettrica pag. 74 Nuovo Cimento Vol. IV. Questo fatto che noi credevamo nuovo era stato osservato da Quet, e poi dopo da Despretz, che con una pila di 100 elementi di Bunsen potè ottenere fenomeni grandiosi di straordinaria dilatazione nel liquido.

mo nel capo 1° richiedendo le dissociazioni chimiche quantità enorme di calore latente per modico effetto di scomposizione, l'effetto apparente in chimica sarà assai piccolo in proporzione degli altri.

Questi fatti provano in modo irrefragabile, che i così detti imponderabili non creano *gratis* il moto, e che è assurdo il sostenere che può per mezzo di questi aversi un effetto che non sia originato da un altro moto. Potrà esser controversia se sia tale o tal altro il genere di moto in questione, ma negare che questi siano moti è tale stravaganza che non merita confutazione. Lasciando quindi che alcuni a loro bell' agio immaginino forze attrattive o ripulsive, forme o entità attive, noi ci metteremo a investigare a quale specie di moto possano attribuirsi tali fenomeni, senza però presumere di dover cogliere nel segno. Ancorchè non vi riuscissimo, vi sarebbe sempre questa differenza tra i seguaci de' due metodi, che gli uni si contentano di dire parole di cui non si comprende il significato reale, gli altri cercano una maniera fisica e reale da spiegare i fatti coi fatti.

Il fenomeno più importante è lo spiegare a qual principio fisico si debba la decomposizione tra i reofori, giacchè alcune pile possono arrivare a farla con una semplice coppia, le altre ne esigono almeno due o tre. M. Favre appoggiato ai principii precedenti osserva, che per scomporre l'acqua è mestieri che l'azione chimica della coppia (o la sua parte almeno che è costretta a circolare pel reoforo) somministri la quantità di calore che si svolge dalla formazione di un equivalente d'acqua che è di 34462 calorie secondo certe sue misure (1). Così nella pila di Grove vi è primieramente la produzione del solfato di zinco , che dà 53258 calorie per un equivalente di zinco sciolto, ma bisogna toglierne il calore levato dallo sviluppo dell' ossigene e dell'acido nitrico

(1) V. Daguin *Tr. de phys.* tom. III. pag. 591.

ridotto. Se quest' acido diviene $Az\,O^2$ o $Az\,O^3$ questa quantità sarà 6887, o 13634, talchè nel caso più sfavorevole, il numero delle calorie fornito dalla pila è ancora 39624 che è maggiore di 34462. Invece nella coppia di Wollaston al calorico della solfatazione dello zinco 53258 si deve togliere 34462 dovuto allo sviluppo dell' idrogeno, il che dà 18796 calorie di resto, che è minore di quello richiesto a scomporre l' acqua: e nel caso della pila di Daniell il calore assorbito nella riduzione del rame è 29605, talchè ne restano 23653, anche questo minore di 34462 (1). Questo esempio particolare ci fa vedere come bisogna tener conto di tutti i lavori attivi e passivi nella pila, e ci porta a sospettare che la decomposizione dell' acqua si faccia dagli elettrodi (quando non sono capaci di lor natura di decomporre l'acqua, come sono i fili di platino), in virtù del principio della dissociazione calorifica di cui abbiamo parlato nel capo I. §. 11. pag. 74.

Un lavoro assai esteso di M. Mariè Davy e Troost, ripreso poscia ed ampliato da M. Marié Davy, ha provato che *le forze elettromotrici* determinate coi soliti metodi di Ohm, *sono in ragione del calorico sviluppato dalla combinazione delle sostanze ;* talchè si può impiegare legittimamente la forza elettromotrice per misurare le quantità di lavoro moleculare e le quantità di calorico che ne risultano.

Inoltre da una lunga serie di sperienze ha trovato che le *quantità specifiche di calorico svolte in queste combinazioni sono nel medesimo ordine e proporzione che i chimici assegnano alle affinità per l'ossigene.* (2).

Talchè essendo le forze elettromotrici proporzionali alle quantità di calorico, e queste alle affinità chimiche, ne ri-

(1) *Ann. ch. et phys* 8. *serie* t. LIII. p. 423.

(2) V. le memorie di Marié Davy citate di sopra, intitolate *Recherches Théoriques et expèrimentales sur l' électricité.* Paris 1861.

sulta che le forze elettromotrici sono in proporzione delle stesse affinità chimiche (1). Questa conclusione mostra ancora che le affinità chimiche sono proporzionali alle quantità di forza viva o di calore che risultano dalle combinazioni chimiche per equivalenti.

Queste verità combinano bene con quello che sul calorico si disse al cap. I §. 14, e furono già intravvedute dai vecchi fisici, i quali presto conobbero che le forze elettromotrici erano in proporzione colle affinità chimiche, e ne nacquero quindi le teorie elettrochimiche di Berzelius e le scale d'elettrotismo di Mariannini. Anzi può dirsi che noi non abbiamo realmente altro modo da valutare in cifre le affinità chimiche fuorchè deducendole o dal calore svolto nelle combinazioni, o dalla corrente generata.

Quindi si possono riassumere brevemente le leggi della pila sotto il punto di vista meccanico a questo modo. La potenza elettromotrice di una pila è proporzionale 1.° Alla somma algebrica dei lavori molecolari che vi si generano (lavori positivi e negativi).

2.° Alla somma de' lavori resistenti che la corrente subisce nel suo circuito interno o fuori di esso nell'esterno.

3.° Alla quantità di calore che questa medesima corrente sviluppa nel suo circuito, supponendo nulle le resistenze esteriori al circuito, e le azioni chimiche prodotte accidentalmente o normalmente entrando nella espressione della potenza motrice.

4.° Proporzionale in fine alla quantità di calore che proviene dai lavori moleculari delle combinazioni effettuate.

Queste leggi combinano in sostanza con quelle già date da Joule che stabiliva 1.° esser la corrente proporzionale al numero degli atomi di acqua o di zinco impiegati a produrla : 2.° il calore prodotto da una coppia voltaica esser

(1) Marié Davy mem. cit. pag. 179

in proporzione diretta della forza elettromotrice e del numero degli atomi decomposti: e 3.° che il calor totale nel circuito è proporzionale al numero degli atomi decomposti in ciascuna coppia del circuito, moltiplicati per le somme delle forze elettromotrici (1).

Prendendo pertanto una pila semplice ed esente da azioni locali, così può riassumersi la teoria della produzione del calorico. La sostituzione dello zinco all'idrogeno rende disponibile una quantità di potenza viva, esprimibile in calorie, che è la potenza motrice. Questo movimento si trasmette al circuito sotto forma di moto elettrico, vogliasi esso flusso della materia ponderabile o dell' imponderabile. Questo flusso trovando delle resistenze, l'effetto che ne deriva è di agitare il mezzo e convertire la forza viva dell' elettrico in calorico, ossia una porzione di moto traslatorio dell'elettrico in vibratorio calorifico dell'etere e della materia ponderabile. Quando nulla si consuma fuori, l'equivalenza è completa fra la quantità del calorico prodotta dall'azione chimica e quella che si trova nella pila e nel circuito: se vi è perdita esteriore per lavori meccanici, radiazioni, decomposizioni ecc. ne mancherà una parte che esprimerà tali lavori.

Il vedere che tutto dipende dalla quantità del calorico destato nell'azione chimica, ci suggerì che il modo più semplice di spiegare l'analisi tra reofori, era ridurla al principio stesso che regola la dissociazione prodotta per azione meramente calorifica. Qui la sola differenza è che l' azione vibratoria si trova concentrata su piccola superficie e perciò è più energica, e infatti più si impiccoliscono le superficie più si ottiene facilmente la decomposizione: essa riesce meglio non solo colla pila usando fili sottili, ma anche può ottenersi colla macchina elettrica ordinaria usando il metodo di Wollaston che concentra l' azione unicamente alla superficie estrema delle sezioni, chiudendo il filo in un tubo di vetro. Se

(1) Joule *Arch. d' Electr.* 1852 T. II. p. 54.

l'azione calorifica è troppo intensa, come nel caso di piccoli reofori (V pag. 270) con fortissima corrente, allora la temperatura dilata troppo il liquido che resta allo stato sferoidale, e si ha una forte radiazione nella massa con una serie di piccole scariche istantanee, e la decomposizione non può stabilirsi. L'azione meccanica calorifica discretamente concentrata facendo oscillare gli atomi in vibrazioni superiori al limite a cui possono stare uniti, li sforza ad uscire uno dalla sfera d'azione dell'altro e così li separa, e la corrente stessa somministra loro quel tanto di forza viva che è necessaria perchè possano conservarsi in stato isolato, e uscire dalla combinazione. Inoltre gli atomi usciti da questa separazione con eccesso di elettrico o con difetto saranno trasportati liberi ai poli della pila di nome opposto, ma mediante uno scambio successivo di atomi da strato a strato del liquido, attesa la non conducibilità del mezzo. Così senza introdurre nuovi principii tutto si riduce alla forza viva dell'azione chimica, che trasportata da una sezione all'altra del circuito per mezzo del torrente elettrico è capace di mettere in moto vibratorio le masse, e a separarle al modo stesso che già dicemmo poter fare le vibrazioni calorifiche ordinarie, o le luminose delle radiazioni.

Abbiamo indicato sopra che i fenomeni della pila erano un caso particolare dell'azione chimica e che questa si estendeva assai più in là, onde era mestieri cercare nell'azione chimica la spiegazione della corrente, ma non viceversa la corrente rappresentava adequatamente i fatti dell'azione chimica. È mestieri ritenere bene questa limitazione, altrimenti si crederà di trovare obbiezioni ove non sono. Così per esempio non tutte le combinazioni voltiane soddisfanno alle indicate leggi.

Queste leggi sono basate per lo più sull'azione dello zinco amalgamato e dall'acido solforico: quindi usando le altre combinazioni si trova che esse non si verificano. Così sappiamo che secondo Raoult usando zinco e acetato di

zinco, con piombo e acetato di piombo, invece della quantità di calorico chimico 15691, si trova il calor voltaico 12438; e col rame e nitrato di rame, coll'argento e nitrato d'argento, il primo è 16402 mentre il secondo è 7789 (1).

In questi casi delle reazioni interne possono complicare la questione. Ma anche in casi più semplici le irregolarità non sono meno ovvie. Così per esempio sembrerebbe a prima vista che usando delle forti resistenze nel circuito potesse regolarsi l'azione chimica in modo che la durata dell'azione di una pila fosse in ragione inversa dell'intensità della corrente. Tuttavia ciò non succede, e le sperienze ci hanno mostrato che in una pila di Bunsen ben isolata con filo corto e grosso il prodotto della durata per l'intensità essendo stato 527, la stessa a filo lungo e sottile non diede che 260. Nè si può tutta la differenza attribuire alle dispersioni, perchè calcolate queste dietro l'effetto osservato in un circuito isolato e mantenuto aperto, la quantità per esso perduta non era sufficiente a spiegare la differenza (2). Quindi ne viene provato che nelle combinazioni voltaiche anche le più stimate, aumentata che sia la resistenza del circuito, gran parte dell'elettrico messo in moto dall'azione chimica si riequilibra per altra via che pel filo conduttore. Probabilmente esso si scarica pel liquido stesso e lo riscalda.

In una pila a luce elettrica la deviazione della bussola resta costante da quando è al principio della sua azione fino al fine in cui si stanca, ma durante l'azione varia molto la lunghezza del nastro luminoso, cioè la quantità delle molecole scosse. Questo fatto è analogo a quello osservato da Faraday, il quale trovò che con pile in maggior numero non variava la decomposizione chimica del voltametro se allungavasi proporzionatamente la quantità di filo di platino mantenuto a roventezza identica. Questi fatti ci insegnano che restando la stessa la quantità dell'elettrico (misurata dalla

(1) *Cosmos* 16 Ottobre 1863 pag. 430.

(2) V. Mem. sulla luce elettrica Nuovo Cimento tom. IV.

deviazione o dalla azione chimica) essa sarà capace di agitare una massa diversa di materia pesante proporzionata alla tensione e velocità virtuale della corrente stessa. Onde anche sotto questo rispetto la tensione è comparabile a ciò che nel moto de' fluidi costituisce la pressione. Perchè possiamo comparare in questo caso la pila di Bunsen a un motore idraulico, in cui si diminuisca la resistenza a mano a mano che cala l'altezza del livello dell'acqua motrice in modo che la massa e la velocità dell'acqua che passa resti la stessa.

I fatti osservati dal Soret mostrano che un lavoro dinamico fatto nel circuito reagisce sulla corrente, e quindi meritamente si ammette la legge che l'intensità sia dipendente anche dai lavori che si fanno nel circuito stesso. Ma tali lavori sono di diversa specie, e come nei lavori meccanici l'azione chimica diminuisce in ragione semplice, e il lavoro termico in ragione duplicata, della quantità di elettrico, il calore svolto deve per conseguenza divenir più piccolo che il lavoro speso.

In queste trasformazioni conchiuderemo col sig. Leroux: l'elettricità essendo un modo di movimento, come il calore e la luce, essa subirà diverse modificazioni secondo i diversi lavori, siano essi di genere meccanico di luce o di calore: e in essi non potendosi il moto nè perdere nè creare, il lavoro stesso si dovrà trovare in tutte le trasformazioni: ma nei casi pratici la difficoltà principale sarà il determinare la specie di lavoro, e quindi eseguirne la valutazione numerica colle leggi generali della meccanica. Vedremo appresso delle differenze anche più complicate per gli effetti dell'induzione che costituiscono un'altra specie di lavori (1). Ma sempre resta vero il

(1) Le quistioni toccate qui sono più vitali che non sembra: se ne sono occupati Soret e Clausius (Vedi *Archiv. des sciences nat.* tom. 46. 1857. pag. 120 e seg. e pag. 170, e diversi altri. Favre ibi 1859 pag. 359). Vedi nella nota di Clausius come esso spiega

principio generale di meccanica del doversi trovare invariabile nelle sue trasformazioni la quantità della forza viva.

Molti di questi punti sono ancora oscuri, noi non lo neghiamo; e come non ne potremmo qui intraprendere la dilucidazione, così esortiamo chi può a studiarli: essi formeranno un bel tema di ricerche ai fisici e finiranno certamente per rischiarare la maniera di trasformazione de' diversi movimenti.

Per schiarire ciò che si è detto sul trasporto degli elementi dalla corrente dobbiamo fare un' osservazione. I fisici non sono ancora d'accordo sul punto se i liquidi abbiano o no una facoltà conduttrice indipendente dalla decomponibilità chimica. La questione è molto delicata. Ma per appartenere essi alla classe dei diafani, e per l'antagonismo che essi hanno coi corpi metallici intorno alla luce, sembra potersi concludere che come per questi non si propagano i moti trasversali, così nè anche per essi i longitudinali, tranne a una minima profondità, quanta appunto è sufficiente a sconvolgerne le molecole onde decomporle successivamente e ricomperle per scaricare così la corrente.

La decomponibilità per equivalenti costanti accennata al principio di questo articolo, porta alla conseguenza che negli atomi elementari sia la stessa la capacità elettrica. Questa capacità elettrica qui non può significare altro se non se che la stessa quantità di moto elettrico è costantemente richiesta a decomporre un equivalente di qualsiasi sostanza. Quindi essa ricade nel principio medesimo che regola le decomposizioni calorifiche per via meccanica. Finora nulla ci istruisce se anche le quantità di etere che formano le atmosfere degli atomi ponderabili siano eguali qualunque sia la natura delle particelle ponderabili: ma ciò

il fatto fondamentale dietro la teoria del calore. In fondo tutti la riducono ad un aumento di resistenza, ma *resistenza dinamica* (Leroux l. c. pag. 160).

non è impossibile. In tal caso queste atmosfere potrebbero differire tra di loro pel grado di densità di cui sono fornite e per la velocità delle rotazioni.

Questo è ciò che possiamo dire in materia così difficile, ove benchè molto siasi sperimentato, pure i lumi trattine sono ancora scarsi al bisogno. Vediamo pertanto se rovesciando il problema e cercando le leggi dell'elettrico messo in moto dal calore si possa avere più facilità di penetrare questi misteri.

§. 6.

Dell'elettricità svolta dal calore : nozione definitiva della corrente.

La reciprocità nei fenomeni della natura è una legge generale ; e quindi accade che come l'elettricità genera calore, così il calore genera elettricità. Il calore (nel modo stesso che abbiam veduto fare le azioni chimiche) turbando l'equilibrio moleculare produce tanto la corrente quanto la tensione , e questo genere di fenomeni è eminentemente proprio a farci decidere sulla vera natura del flusso elettrico.

L'elettricità comune di tensione nelle macchine elettriche è destata per que' modi meccanici medesimi che producono il calore , de' quali il più comune è l'attrito. La forza meccanica mettendo in vibrazione lo strato superficiale delle molecole turba il loro equilibrio con tanto maggior facilità in quanto esse sono meno contrastate dalla pressione delle altre , secondo che già esponemmo. Quindi, come bene avverte Thomson (1), il lavoro meccanico in parte è manifestato sotto forma di calorico in parte d elettrico : se il corpo sia poco conduttore del moto mole-

(1) V. Thomson *Philos. Trans.* 1856. *On the dynamic qualities of metals*, nota a pag. 659.

culare calorifico, l'effetto resta concentrato alla sua superficie, ma se sia tale da dargli facile trasmissione (cioè sia conduttore) passa all'interno e per lo più si manifesta sotto l'aspetto di semplice calore, ma può mostrarsi come tensione e come corrente anche in questi, purchè si usi una conveniente disposizione per conoscerle; come p. es. per la tensione strofinandoli mentre sono isolati, e per la corrente attaccando una lima e un pezzo metallico limato ai capi del filo di un reometro.

Ma il calore stesso direttamente e senza l'azione meccanica può produrre le correnti. Il fatto fondamentale è ben conosciuto dai fisici: quando ad un circuito chiuso di metalli eterogenei si applica in una qualunque delle giunture una sorgente di calore, nasce uno squilibrio elettrico che dà luogo ad una corrente. I circuiti più efficaci sono i notissimi di bismuto ed antimonio, di rame e zinco, di ferro e platino ecc. La corrente si ottiene anche raffreddando le giunture, ma allora come è naturale la corrente và in verso opposto. In questi fenomeni l'eterogeneità de' metalli deve intendersi in latissimo senso, e ogni modificazione fisica che influisca sulla struttura moleculare è sufficiente a determinare il giro della corrente. La sola differenza di sezione però ha provato Magnus che non ha effetto: e ciò fa vedere che la conducibilità de' diversi metalli, se pure ha una qualche parte nel fenomeno, non è cagione di esso, perchè la sezione più ampia benchè offra maggiore la conducibilità non si presta alla generazione della corrente. Questo è provato direttamente anche dal caso di metalli eterogenei, nei quali la corrente non va sempre nel verso del miglior conduttore. Onde è da cercarne la causa nell'intrinseca struttura dei corpi.

La direzione del flusso varia nei diversi metalli e in alcuni và dalla parte calda alla fredda (tipo antimonio), negli altri dalla fredda alla calda (tipo bismut), ma anche in questi stessi corpi ciò dipende assai dalla struttura in-

terna e dalla direzione del clivaggio quando sono cristallini. Così in una verga fusa di bismuto in cui il foro del getto corrisponde al centro trovandosi questo punto fra clivaggi opposti, le due parti danno pure corrente in verso opposto, mentre il foro stesso è neutro (Svamberg). La forza poi trovasi massima secondo la direzione relativa de'clivaggi, e in due cristalli di bismuto posti a contatto, le cui facce artificiali siano variamente inclinate al clivaggio naturale, il minimo di corrente si ha a clivaggi paralleli, il massimo a clivaggi perpendicolari, in modo che la linea assiale dell' uno corrisponda all'equatoriale dell'altro (1). Matteucci trovò che nelle lamine a clivaggi assiali andava dal caldo al freddo e viceversa negli equatoriali. Anche il magnetismo basta a dare una direzione alla corrente nel ferro. Queste variazioni possono ottenersi in tutti i corpi con delle pressioni artificiali, cogli stiramenti e le torsioni: insomma da ogni modificazione moleculare (2). Nei metalli fusi cessa ogni corrente termo-elettrica (Matteucci).

Apparisce quindi che il circolare della corrente in un verso o in un altro è meramente dovuto alla costituzione solida e alla distribuzione interna delle molecole. Siccome questa distribuzione può variare nella stessa sostanza per l'azione del calore (come abbiamo veduto nei cristalli diafani, nei quali gli assi loro cambiano di posizione in guisa che una forma vicina al cubo muta in diagonale minore a una temperatura quella che è diagonale maggiore ad un'altra), così molto più varierà essa da una sostanza all'altra, e potrà aversi ragione del rovesciamento che presentano certe combinazioni come p. es. ferro e platino, che rovesciano la corrente alla temperatura di 280.° (Becquerel).

(1) Franz in De la Rive *Tr. de l'électr.* tom. III. pag. 493.

(2) V. Il grande lavoro di Thomson nelle *Ph. Trans.* 1856 *On elettrodynamic qualities of metals* pag. 718 ecc. Rapporto al ferro egli dimostra che la *corrente va dal ferro duro al dolce attraverso la parte calda*.

La forza o tensione che spinge queste correnti è minima, considerata rapporto a quella dell'azione chimica, come deve aspettarsi in corpi dotati di tanta conducibilità. Si trova che 150 coppie di rame e bismuto appena equivalvono a una di Daniell, quindi ogni minima resistenza le affievolisce, onde non possono uscire dal corpo in cui si generano. In tal caso avremo nell' interno de' corpi movimenti elettrici a modo de'rigurgiti de' liquidi dentro i vasi chiusi che non si possono certamente riconoscere coi reometri ordinarii. Di tali correnti interne ne avremo altre prove appresso, per ora basti dire che a queste forse sono dovute le ripulsioni che presentano i cristalli di bismuto e di altre sostanze nel campo magnetico; ma di ciò più diffusamente a suo luogo.

I termoscopi più delicati che possegga la scienza sono fondati su questo principio, e quindi si rileva che nelle sostanze esposte a un calore qualunque, *oltre il movimento vibratorio termico, ha luogo un altro movimento che in opportune circostanze rendesi sensibile nel flusso elettrico esterno, ma che non deve mai mancare nell'interno.* Questo flusso per determinarsi ad andare in un verso o nell'altro ha bisogno di una diversità nella struttura interna, la quale trovasi in ogni caso in quella che dicesi comunemente disposizione molecolare.

Una pila termelettrica metallica esposta alla radiazione calorifica ci fa vedere che il moto vibratorio dell'etere che propagherebbesi trasversalmente in un diafano, si trasforma in parte almeno in moto di corrente longitudinale. Questo fatto ci può condurre a precisare meglio la natura della corrente, e l' influenza propria dell'etere. Infatti è manifesto che qualunque agitazione comunicata alla materia ponderabile mista all'imponderabile, deve continuare ad essere o moto della materia eterea o della ponderabile: se dell' imponderabile esso non può essere che o vibrazione traversale o trasporto longitudinale: ma nei metalli tal vibrazione non può aver luogo, per cui sono opachi; resta adunque che sia il secondo.

Che se si dicesse che la forza viva della vibrazione calorifica incidente si comunica tutta alla materia ponderabile, ritornerebbe l'argomento, perchè tale forza viva si dovrebbe poi ricomunicare alla imponderabile, attesochè messa in agitazione la prima ne segue sempre una agitazione nella seconda. Cresciuta che sia o in un modo o in un altro l'oscillazione nella massa eterea, le escursioni dei suoi atomi sono per ciò stesso più ampie, e quindi ne deve nascere una dilatazione e un vero flusso in un verso o nell' altro secondo che permette la costituzione del canale con cui è in comunicazione. Da ciò si conclude che l'etere deve ancor esso aver parte in ciò che dicesi corrente e non la sola materia ponderabile.

Finora siamo stati in sospeso su la natura della corrente, e senza deciderci tra le due ipotesi rivali, se essa cioè consistesse in un flusso di materia ponderabile in istato di attenuazione, ovvero se fosse un mero movimento dell'etere interposto alle molecole di tutti i corpi. Ma i fenomeni termelettrici facendoci vedere che una semplice vibrazione luminosa dà origine a queste correnti, e in questo caso essendo difficile a concepire che perciò solo si abbia a disgregare la materia ponderabile con forza sufficiente a farla incanalare nel filo conduttore, malgrado le resistenze di ogni genere che incontra, noi siamo portati a credere, come opinione più probabile che tal corrente debba principalmente attribuirsi alla *materia imponderabile circolante nell'interno della ponderabile, il che non impedisce punto che in molti casi essa possa trasportar seco la ponderabile stessa.*

Ad escludere la sola materia ponderabile già avvertimmo altrove, che nè in questi circuiti nè in altri percorsi dalla corrente apparisce permeazione alcuna di sostanza ponderabile lungo il filo, nè cambia menomamente nè ai capi nè nel mezzo la sua natura chimica, onde saremmo costretti ad ammettere che se ciò che si trasporta è materia ponderabile (giacchè un trasporto abbiamo dimostrato che vi deve

essere) questa è in condizioni affatto diverse dalla materia pesante ordinaria. Allora rientrerebbe secondo noi nell'ordine della imponderabile. Ma d'altra parte tale attenuazione non sarebbe provata dai fatti , perchè l' esperienza mostra che nei trasporti le sostanze conservano la loro natura chimica; è quindi necessario ammettere che la ponderabile stessa sia quella che è trasportata passivamente e messa in moto. Che se riesce assai difficile capire come una debolissima vibrazione luminosa possa disgregare la materia ponderabile e cacciarla per tutto il conduttore, non riesce meno difficile a capire questo anche in altri casi; così p. es. vedremo che il semplice capovoltare di un ferro in faccia a una calamita produce una corrente assai energica: ora è ben difficile ammettere che così deboli operazioni meccaniche possano disgregare e mettere in moto le molecole ponderabili. Quindi la maniera più semplice di concepire i fatti è che la corrente sia dovuta al moto della materia imponderabile.

La somma mobilità dell'etere nei corpi conduttori porta seco una certa dilatabilità, perchè in ultima analisi ancor esso è materia, e i suoi atomi non possono esser esenti dalle leggi generali del moto, non differendo essi in sostanza in altra cosa dalle molecole ponderabili che nell'essere probabilmente isolati e semplici, mentre queste sono gruppi composti di molti di essi. Quindi crescendo l'agitazione intestina del mezzo anche i suoi atomi devono oscillare in curve più estese , e così prodursi una separazione reciproca maggiore, il che costituisce una vera dilatazione. Quest' aumento di volume darà necessariamente origine a un trasporto di etere ossia a una corrente ,per la quale non vi è però bisogno di ammettere che l'etere sia un gas compressibile, ma meramente un fluido come tutti gli altri, ben inteso che questa mobilità resta propria de' soli corpi conduttori e non degli isolanti.

Questa idea della dilatabilità dell'etere non è nuova, e viene necessariamente imposta dai fatti. In vero due soli sono

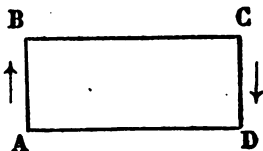
i modi che noi conosciamo in natura per trasformare la forza viva moleculare in potenza meccanica, e fare un lavoro: una è la dilatazione della materia ponderabile e specialmente dei gas, l'altra è la corrente elettrica. Nel primo caso quando si agisce con corpi fluidi l'effetto si riduce a stabilire mediante la dilatazione una corrente materiale di fluido che diviene essa stessa per così dire il traslatore da luogo a luogo della forza viva, che acquistata in una sezione la perde in un altra. L'elettrico si diporta in tutto nel modo medesimo e serve ancor esso a trasportare la forza viva da una sezione all'altra del circuito, poichè gli studi precedenti ci han condotti a riconoscere nella linea attivata dalla sua forza elettrica le qualità di vera corrente con leggi analoghe a quelle de'flüdi e che non basterebbe nemmeno un semplice moto di vibrazione longitudinale. Ma tanto nel caso delle correnti termiche che delle magnetiche non abbiamo prova sufficiente che tal fluido sia costituito dalle mere particelle della materia ponderabile allo stato ordinario, quindi resta che sia flusso di materia imponderabile.

Si potrebbe addurre in contrario il fatto che un leggiero riscaldamento della potassa in un tubo di Gassiot evapora tanta materia che lo rende permeabile alla corrente, onde anche un leggier riscaldamento del metallo può attenuare le sue parti e farle scorrere con vigore entro la massa del conduttore. La diversità del caso è però troppo palpabile. 1.° perchè quel riscaldamento se fa evaporare un poco di acido o di potassa, non però genera la corrente, ma solo esso fa la via alla medesima, onde la corrente deve essere qualche altra cosa. 2.° La diffusione qui si fa in uno spazio vuoto e non mai per una materia resistente come i metalli, i quali vogliansi pure porosi quanto piace sempre resistono, e talora la corrente deve percorrere in essi in tempo appena percettibile miglia e miglia. Che se vuolsi che il calorico desti uno spostamento di quelle molecole che s'intendono attenuate in preciso e stretto senso atomico, allora la que-

stione non ha più luogo dietro il nostro modo di concepire l' etere. Per esclusione quindi resta provato per quanto è possibile farlo, che ciò che forma la corrente è un mero flusso della materia eterea che trovasi costituire tutti i corpi.

Suffraga eminentemente una tale idea il vedere che que' corpi in cui propagasi tal moto di corrente son quelli in cui si estingue il trasversale della vibrazione (salvo il caso di scomposizione) e mentre in una classe di corpi quali sono i diafani l' etere può vibrare, negli altri che sono i metalli esso dovrebbe restare affatto inerte e senza azione alcuna, anzi l'etere stesso dovrebbe ricever ogni moto prima dalla materia ponderabile. Abbiam veduto che la struttura metallica è tale che ci mostra un facile spostamento delle molecole pesanti , ed è incredibile che nessuno ne possa avere entro di essi l'imponderabile. Quindi non è irragionevole ammettere la possibilità di un moto longitudinale dell'etere nei corpi conduttori, moto che non esisterebbe negli isolanti. I due moti possono essere originati entrambi da uno stesso moto , ma la loro propagazione è essenzialmente distinta , come in genere il vibrare non è fluire. Anzi una differenza essenziale caratterizza questi due moti, perchè uno è reversibile l' altro no. Il vibratorio salvo il caso di riflessione non torna mai addietro , il fluente può farlo, e ne vedremo dei casi quanto prima : l' elettrico inoltre ha un segno di direzione positiva e negativa con effetti che non fa punto il vibratorio. Vediamo così non solo collegate le proprietà ottiche colle elettriche, ma anche colle chimiche. Perchè come l'azione chimica produce squilibrio, e tensione, per dir così, nell'atto primo che i corpi si mettono a fronte, e poi la corrente nell'atto secondo, per riequilibrare le dosi dell'etere costitutive di due molecole; così il calorico introducendo colla espansione un nuovo disquilibrio produce pure la corrente. Tanta facilità di concepire i fenomeni bisogna almeno confessare che non trovasi nelle ipotesi che escludono l'etere, la cui esistenza non potendosi ne-

gare pei fenomeni luminosi, esso rimarrebbe un corpo destinato esclusivamente a vibrare nei diafani senza più, il che non è credibile.

Così considerati i fenomeni termelettrici ci presentano rapporto all' etere gli effetti stessi che produce il calorico nei fluidi chiusi in recipienti di tal forma che le varie sezioni hanno temperatura diversa. In se questi immaginiamo un canale orrizzontale e simmetrico in tutta l'estensione che si scaldi nel punto A e si raffreddi in C, avremo la dilatazione del liquido che va per tutti i lati egualmente: ma se vi sia in B una disposizione meccanica, p. es. una valvola che permetta solo il corso verso C, e in D un altra che solo lo permetta verso A, è manifesto che il giro della corrente si farà nella direzione A B C D e non già nella contraria, e finchè durerà tale disposizione durerà la circolazione. È noto che questo non è un caso ideale, ma che nei termosifoni e in molte macchine a vapore in cui si usa la stessa acqua condensata in un refrigeratore chiuso, si ha effettivamente tal circolazione.

La similitudine quadra a capello con un rettangolo di metalli eterogenei scaldati in A, e raffreddati in C. L'elettrico messo in moto per la turbazione dell' equilibrio suddetto, gira in un verso o nell'altro più facilmente secondo che trova disposizione molecolare più opportuna : le valvole del tubo meccanico sono quì sostituite dalla diversa suscettibilità che hanno le molecole ad ubbidire a un determinato impulso.

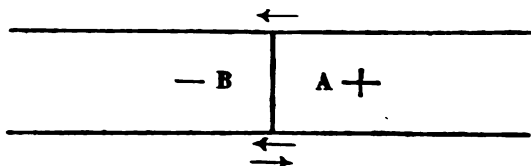
Ma in chè consistono queste disposizioni moleculari, e qual concetto meccanico possiamo noi formarcene per spiegare i fatti? Possiamo illustrare ciò con un esempio desunto da un giuoco fanciullesco, è vero ma non per ciò meno istruttivo. È divertimento puerile formare mulinelli col semplice infiggere in una rotelletta di legno molte penne d'ucello inclinandole

in guisa da formare una vera elica, *destra* o *sinistra* secondo l' inclinazione delle ali. Ora se immaginiamo una serie di tali eliche di numero eguale nei due sensi disposte sul medesimo asse investite da una corrente d' aria, tutte esse gireranno, ma le une in verso opposto delle altre, e se le immaginassimo chiuse dentro un tubo, e volessimo spingere una corrente d'aria per esso, noi troveremmo una resistenza eguale facendola affluire nei due versi da un capo qualunque del tubo. Ma se le elici fossero tutte di una specie, e fosse impedito il loro girare in un verso, ovvero fossero di per sè stesse dotate di un movimento loro proprio mediante qualche congegno meccanico interno, è manifesto che l'agevolezza di spingere il flusso nei due versi non sarebbe più la stessa, ma si troverebbe assai più di resistenza andando contro il loro moto naturale che non secondandolo. In tal caso inoltre un afflusso fatto dal punto di mezzo del canale prenderebbe già da sè il corso nella direzione del moto delle elici. La similitudine è desunta da un giuoco di fanciulli, ma non perciò è meno filosofica, perchè la natura lavora allo stesso modo e colle stesse leggi in ciò che dà a noi la vita, e in ciò che serve di trastullo.

L' applicazione l'avrà già fatta il lettore prima che io gliela esponga. Nei corpi solidi le molecole sono diversamente conformate e con ciò presentando momenti d'inerzia ineguali. non sono egualmente disposte a concepire il moto di rotazione in tutti i sensi. Esse inoltre sono già orientate in certa direzione omologa nei corpi cristallini, onde presentar devono una resistenza ben diversa a un flusso qualunque in un senso è in un altro. Può paragonarsi tale resistenza a quella che nasce dalla struttura a modo delle squamme di un pesce. Per quei corpi che non sono cristallini una eterogeneità di natura, o una modificazione di molecole più o meno condensate in una direzione, supplirà a costituire una differenza nella disposizione a prestarsi al flusso.

Inoltre esse sono necessariamente in rotazione, e i loro assi sono, dove più dove meno, diretti un senso determinato. Vedemmo come queste cose ci venissero già indicate nel caso dei corpi diafani cristallizzati, onde è naturale arguire lo stesso anche pei metallici. Quando adunque tra due metalli posti a contatto, venga eccitato uno squilibrio dell'etere per mezzo della dilatazione calorifica, le loro molecole si troveranno inegualmente disposte a seguire il flusso, onde il moto si potrà propagare in un verso meglio che un altro e la corrente acquisterà una direzione determinata. Che se si usi una corrente estranea alla naturale del mezzo se essa sia sufficientemente forte, incontrando un sistema di molecole in moto con rotazione contraria al suo andamento, potrà accadere che da prima ne dimunisca il loro moto e poi anche lo rovesci. Ma in tal atto la forza viva della corrente, e il moto intestino della massa sarà diminuito. Così avverrà che le correnti, in alcuni casi diminuiscano la temperatura naturale delle molecole, quando il moto di queste non si trovi combinare colla direzione di quelli. Tale è probabilmente la cagione del fatto singolare e assai famoso scoperto dal Peltier in cui una corrente andando per un verso genera caldo, e per l'opposto produce freddo. Il lavoro cioè della corrente sarebbe nel 2.° caso impiegato a distruggere e rovesciare i moti rotatori moleculari proprii del metallo, a controsenso del quale caminano quelli prodotti dalla corrente stessa, e con ciò si avrebbe una diminuzione di forza viva da quella stessa causa che comunemente suole produrre un aumento: fenomeno che richiama alla mente le interferenze luminose benchè qui il principio sia differente.

Chi non amasse di ricorrere alle rotazioni moleculari potrebbe dire che al luogo dell' unione de' metalli accade un rigurgito o contrasto tra la corrente della pila che produce calore, e la corrente secondaria originata da questo stesso calore, le quali due andando in verso opposto ne nasce una diminuzione di forza viva e quindi freddo.

Infatti è manifesto che se la combinazione de' metalli A e B è tale che scaldata alla giuntura produca una

corrente andante da A à B, una seconda corrente addizionale trasmessa nello stesso senso produrrà essa pure calore, e si avrà temperatura maggiore dalle due cause congiunte insieme. Onde rimovendo la sorgente termica ordinaria dovrà aversi calore dalla sola corrente che passa da A a B. Quando poi la corrente và da B ad A, producendo essa movimento moleculare nella saldatura e perciò calorico, vi determinerà una controcorrente che per ciò stesso andrà in opposizione alla corrente principale e ne paralizzerà l' effetto, onde essa reagirà sopra sè stessa e produrrà minor temperatura (1). La debole forza che devono avere le correnti avventizie per produrre l'abbassamento di temperatura sotto quella dell'ambiente, sembra giustificare tale spiegazione, perchè se sono forti, producono aumento, benchè sempre minore in un verso che in un altro; così p. es. se dal ferro allo zinco si ha 30°, dallo zinco al ferro si avrà 13°, così pure si è avuto dal bismut al rame — 4,° dal rame al bismut 50°, il che mostra che il fenomeno è generale per tutti i metalli salvo che ha maggiore intensità nel bismut e nell'antimonio, nei quali si è ottenuto fino a — 20.°

I fenomeni delle correnti svolte dal calore nei metal-

(1) In tal caso nell'interno del circuito si dovrebbe avere diminuzione della corrente principale, ma deve esser difficile determinarne il valore se tutto si riduce all'azione de'rigurgiti: però sarebbe da provare coll'esperienza se vi sa tale diminuzione. Noi però preferiamo la prima spiegazione.

li hanno i loro correlativi nella tensione che si desta nei cristalli termelettrici, tipi dei quali sono la tormalina, la boracite, il topazio, lo zucchero ec. Anche qui si verifica la legge che la direzione del movimento elettrico è dipendente dalla condizione moleculare. I cristalli in vero senso termelettrici, cioè quelli che danno le due elettricità opposte simultaneamente, sono tutti di tale configurazione che i loro estremi o *poli* sono di forma diversa: cristalli perfettamente simmetrici ed eguali in tutto non danno elettricità che di una sola specie (Pianciani), probabilmente dovuta alle azioni chimiche o alla evaporazione. Questa diversa conformazione ci avverte che la distribuzione dell'etere nell'interno è diversa nelle varie direzioni, come già abbiamo veduto nei fenomeni ottici in cui la rotazione del piano di polarizzazione si fa a destra o a sinistra nel quarzo secondo la direzione delle faccette della figura plagiedrica, ed essa pure deve contribuire alla direzione del movimento nell'etere disequilibrato. La diversità di struttura agisce qui come nei corpi metallici, seguendo però la regola generale « *che quelle cause che determinano la corrente nei metalli, producono la tensione negli isolanti.* »

Degli studi più accurati sulle forme cristalline getteranno luce su questa materia, come lo fecero già pei cristalli diafani, e faranno capire perchè la corrente vada dal caldo al freddo in alcuni metalli, e in altri al contrario. Così nel bismuto, finchè si credette cristallizzato in cubi, si offriva una seria difficoltà per capire come potesse esservi eterogeneità di struttura, ma posteriori ricerche mostrarono che esso è invece cristallizzato in romboedri vicinissimi al cubo; e similmente può dirsi di altre circostanze fisiche che determinando una inclinazione del clivaggio in un verso a preferenza di un altro contribuiscono allo squilibrio dell'etere interno in una determinata direzione.

E siccome tale squilibrio nel cristallo isolante segue le fasi del moto moleculare termico, così esso sarà in ver-

so opposto, quando questo è in stadio crescente e quando è decrescente, talchè l'elettricità cambierà di segno a un medesimo estremo secondo la temperatura calante o crescente. Questa conseguenza è confermata dal fatto, che la tormalina p. es. non è elettrica che quando varia la temperatura, ed ha effettivamente elettricità opposta secondo che questa cala o cresce. Considerando poi il momento in cui la tormalina cambia di segno essa apparisce neutra, ma ognun vede che essa è ben tutt'altro che in uno stato di vera nullità di modificazioni intestine. Ciò dimostra che è ben erroneo l'argomentare lo stato assoluto nei corpi isolanti dal loro stato neutro apparente.

I fenomeni di tensione nei cristalli sono analoghi sotto certi rispetti a quelli che accadono negli elettromotori chimici, dove i due *poli* sono oppostamente elettrici quando la pila ha i capi disgiunti, e si genera corrente quando vengono riuniti. La differenza è che nei cristalli noi non possiamo fare ad arbitrio che in uno stesso sistema moleculare si possa stabilire o no la corrente, essendo ciascuno di essi naturalmente o isolante o conduttore.

Per riassumere, diremo, che i sistemi termelettrici sono veri elettromotori termici, come gli altri sono elettromotori chimici: nei termici lo squilibrio è prodotto dall'agitazione comunicata all' etere e dalla dilatazione in esso prodotta; nei chimici il corso è determinato dalla novella distribuzione che prende l'etere di un corpo messo in contatto con un altro per formarne un terzo. E siccome già vedemmo la somma influenza del calorico nella produzione di ogni corrente, sembra indispensabile l'ammettere che una gran parte del movimento etereo anche nella corrente di origine chimica sia dovuta al principio della dilatazione dell' etere stesso. La direzione della corrente dipende pei circuiti termici dalla disposizione moleculare in quanto che essa più facilmente si presta al passaggio dell'etere in una direzione che in un altra, al che non sono certamente estranei i moti rotato-

torii intestini, la cui orientazione diversa si manifesta nella diversa configurazione de' cristalli. Nei circuiti chimici la direzione del flusso sembra dipendere principalmente dalla diversa quantità di etere che costituisce l'atmosfera di ciascuna molecola de' corpi.

Lo stato di tensione statica nei cristalli non supponendo nessuna traslazione di materia ponderabile, mà facendosi per semplice spostamento dell'imponderabile fra elemento ed elemento o da strato è strato, come nelle induzioni de'corpi isolanti, ci fa vedere due cose: la 1.ª che nei corpi di natura isolante il moto del fluido è impedito, ed esso non può scorrere liberamente come nei metalli, onde a questi corpi non può applicarsi il principio di eguaglianza di pressione dell' etere per tutti i versi, ma solo può ammettersi che si muova nello stesso strato di una minima quantità, donde per la moltiplicità degli strati si ha una risultante esteriore di tensione finita. La 2.ª che in questi corpi non essendovi ragione da credere che la tensione derivi da sbilancio di materia ponderabile, così ci porge un nuovo argomento per concludere che anche nella corrente elettrica ordinaria destata nei corpi conduttori entra in azione un elemento diverso da questa materia stessa. Onde in genere nella corrente non tutto può essere effetto di questa sola, e i trasporti di questa che si osservano communemente possono accadere per l'azione violenta dell'etere medesimo. Con tale azione è sempre possibile dar ragione dei fenomeni osservati, mentre all' incontro non pare possibile l' ammettere trasporto ponderabile in alcuni casi di correnti di debolissima tensione come sono le termelettriche, nelle quali l'origine è spesso un tenuissimo moto vibratorio luminoso, ovvero in quelle di induzione magnetica per un semplice spostamento di un corpo, senza che nessun vestigio di tale interno trasporto ponderabile trovisi ne'corpi percorsi dalla corrente. Siccome poi la corrente non può tragittare pel vuoto, nè pei mezzi diafani (tranne con grandissima difficoltà

e alterandone l' aggregazione naturale) quindi siamo condotti a dividere i mezzi in due classi, una che permette principalmente nell'interno un moto trasversale dell'etere, l'altra che ne ammette principalmente un longitudinale: così la corrente può definirsi, dietro ciò che è stato detto, *un movimento traslatorio della materia imponderabile dentro la ponderabile con occasionale trasporto anche di questa.*

Dal detto in questo articolo risulta che noi potremmo fin d' ora usare il vocabolo di corrente eterea, invece d corrente elettrica, e lo faremo talora; ma in genere (secondo il principio enunziato in fine del § 11 Capo I.) sarà meglio conservare il nome di elettricità. E a quella guisa che la pressione, il vento, e il suono benchè tutti modi di azione della stessa aria, pure si distinguono con nomi diversi, così sarà bene continuare a distinguere la tensione e la corrente eterea cogli antichi nomi, come si distinguono le sue vibrazioni coi termini di radiazione e di luce.

§. 7.

Della propagazione dell' elettrico nei corpi: risultati ottenuti dai fili telegrafici.

I corpi si distinguono, come dicevamo or ora nell'articolo precedente, rapporto all'elettrico in due grandi categorie, isolanti e conduttori. La classe intermedia di semiconduttori nasce dall'impurità delle sostanze, o dal miscuglio di liquidi più o meno decomponibili, come sono le sostanze organiche o le miste a liquidi alterabili o a sostanze per metà metalliche e per metà vitree. L'aggregazione moleculare è quella che decide dell'una o dell'altra proprietà e non la natura chimica, così p. es. il carbonio conduce come carbone o grafite e isola come diamante. Se pure vi è qualche sostanza che faccia eccezione, essa non può distruggere la gran divisione naturale di corpi sotto questo

aspetto. I conduttori più eminenti sono i metalli, gli isolanti più perfetti sono i vetri le resine e le gemme.

Toccammo altrove (pag. 208) l' analogia tra le proprietà elettriche de'corpi e il loro modo di agire, rapporporto alla luce, onde sembra che i due fenomeni abbiano origine comune, ma da principio opposto. Qui dobbiamo completare ciò che fu accennato allora. Ma primieramenosserviamo che la divisione di *isolanti* e *conduttori* è parallela a quella di polarizzanti *rettilineamente* ed *ellitticamente*, intendendo questi termini nel senso ivi indicato. Così si abbracciano anche que' corpi che per misture eterogenee sono opachi, ma che hanno natura vitrea o resinosa, e lo stesso si dica di quelle combinazioni minerali che senza esser puri metalli ne hanno l'aspetto e le proprietà. Ambedue le classi partecipano alle proprietà dei loro tipi che sono i *diafani* e i *metalli*. Non sarebbe male trovare due parole generali che esprimessero queste proprietà, ma pel momento noi useremo i termini di *diafani* e *metalli* nel senso più ampio testè indicato, non ne volendo coniare punto di nuovi. Però non devono intendersi tali estremi in senso rigoroso: così p. es. l'oro o l'argento non cessano di esser conduttori quando nello stato di foglie tenuissime sono ancor trasparenti, tuttavia in tale stato offrono sempre grande resistenza al moto dell'elettrico e alcuni distinti fisici li classificano tra i semi-conduttori: alla stessa guisa tutti i corpi anche i più isolanti sembrano penetrati alcun poco dall'elettrico e ne trasmettono alquanto all' interno. È per ciò che i coibenti armati si scaricano in successivi tempi, e che se siano sottili, giunta la carica a certa intensità li disgrega violentemente e li spezza; e anche per la scarica superficiale sembrano subire una disgregazione o una decomposizione. Dei liquidi suscettibili di trasmissione per tal modo già dicemmo altrove.

Nel capo II stesso § 8 abbiamo diffusamente dimostrato che l' azione de' metalli nella luce suppone in essi una

mobilità di molecole che cagionava l'estinzione de' raggi. Adesso rileviamo più distintamente che questa mobilità non è propria solo della materia ponderabile, ma principalmente della imponderabile, e si offre spontanea la congettura che la polarizzazione ellittica sia dovuta a questa stessa mobilità, avvenendo un fenomeno analogo all'urto di un solido contro un fluido. I geometri potranno decidere se sia tale il caso.

Prima di cercare come rappresentarci le modificazioni intestine de' corpi da cui dipendono questi due stati, è bene studiare le leggi della propagazione medesima per assicurarci primieramente se le conclusioni a cui siamo stati condotti nell' articolo precedente sono esatte, e trarne lume maggiore a riconoscere la natura di questo moto.

Il movimento dell' elettrico che ha luogo nei conduttori deve distinguersi in due fasi, una è lo stato permanente, l'altra l'iniziale. I fenomeni studiati finora sono stati utili a mostrarci gli effetti del flusso permanente, dobbiamo adesso studiare quelli che sono proprii dello stato iniziale, e che sono opportunissimi a schiarire l' indole della corrente, se pure vi restasse ancora alcun dubbio. Fino ai tempi recenti tali studi erano difficilissimi, attesa l'inconcepibile rapidità con cui si propaga la forza elettrica nei conduttori usati nei gabinetti, ma mercè de' recenti studi telegrafici in cui enormi lunghezze di filo sono messe in continuo servizio, i pratici stessi hanno rilevato de' fatti importantissimi a vantaggio della scienza, de'quali daremo un cenno. Cominciamo però dal definire che s'intenda per velocità dell' elettrico.

La velocità dell'elettrico è misurata dallo spazio che nell' unità di tempo percorre in un filo conduttore *un' azione di genere elettrico capace di fare un determinato effetto*. Una cotale azione può essere la scintilla che parte da una boccia di Leida che essendo obbligata a percorrere un lungo filo, scocca più tardi nel mezzo che ai capi posti vicini alle sue armature (Wheatstone). Così pure può essere

l'azione di due apparati telegrafici, o due galvanometri, uno posto vicino alla pila, l'altro lontano, dei quali al chiudere del circolo il primo si muove più presto, il secondo più tardi. Può essere una decomposizione chimica la quale si osserva prima sul reagente più vicino e più tardi sul più lontano. Il tempo che impiega una di queste azioni a manifestarsi ad una data distanza serve a misurare la velocità dell' elettrico.

Questa velocità è stata soggetto di grandi ricerche che han dato risultati molto diversi tra di loro. Wheatstone scaricando la bottiglia di Leida per un filo steso a più doppi in un corridore, vide che la scintilla ritardava in modo che la velocità sarebbe stata di 461000 chilom. per secondo. Fizeau e Gounelle trovarono nel filo telegrafico colla corrente della pila 180000 chilom. e notarono che una specie di riflessione aveva luogo nell'interno del filo stesso. Walker e Mitchell la trovarono da 40000 a 45000 chilom. Più lento ancora si trovò il moto nei canapi sottomarini e in quello che traversa la Manica fu stimata di 4300 chilom. soltanto. Queste enormi diversità diedero luogo a ricercarne la cagione seriamente, perchè non si potevano attribuire nè alle materie de' conduttori nè all' inesattezza delle sperienze. Un esame diligente delle circostanze fece vedere che in tutti questi esperimenti doveano distinguersi due cose ben diverse: 1.° il tempo impiegato dal conduttore per arrivare ad uno stato di tensione capace di produrre un determinato effetto a una certa distanza dalla sorgente, v. gr. la scintilla, l' attrazione, la decomposizione; 2.° Il tempo impiegato dalla pulsazione o dall' onda elettrica, o se vogliasi dalle molecole dell' etere a percorrere un dato spazio. Gli esperimenti non danno realmente che la prima cosa, sulla seconda essi non pronunziano, e dipende dalla nozione del moto elettrico il concepirla in un modo o in un altro.

La grande lentezza trovata nei canapi sottomarini nasce

evidentemente dai fenomeni dell'induzione, poichè ciascuno di questi sistemi si carica come una batteria di bocce di Leida, il filo di rame rappresentando l'armatura interna, la gutta perca l'isolante frapposto, e la copertura di ferro o l'acqua l'armatura esterna; e per conseguenza si esige un certo tempo prima che tutta la sua lunghezza sia arrivata a tensione sufficiente all'effetto voluto, come appunto colla macchina elettrica si carica più presto una superficie libera che una pari estensione di quadro magico. Questi fatti confermarono ciò che gran tempo prima avea già detto il Volta, che per caricare colla pila una batteria pure si esigeva un poco di tempo e che la pila benchè fosse copiosa sorgente di elettricità, era però limitata nella copia che poteva produrre. Il signor Latimer Clark vide che messi tre galvanometri uno al principio, uno al mezzo e uno al fine di una linea di fili sotterranei lunga 1490 miglia, con una batteria di 500 coppie, i loro aghi si movevano successivamente uno dopo l'altro in ordine di distanza, con differenza di tempo di più di un secondo; ma se il filo era tutto aereo la differenza era impercettibile (1). Inoltre il galvanometro del mezzo e del fine si moveva lentamente, mentre il primo guizzava rapidamente al chiudere del circuito; anzi aprendo e chiudendo il circuito ad ogni secondo con un pendolo, all'ultimo estremo le alternative erano affatto cancellate e ne usciva un flusso continuato.

La causa adunque delle diverse celerità dell'elettrico trovate dianzi è tutta riposta nelle induzioni laterali che esercitano i fili sui corpi circostanti, e come queste sono sempre diverse, e non possono mai esser nulle in nessun caso, così le osservazioni daranno risultati differenti secondo le varie disposizioni dei fili. Quindi risulta che la velocità

(1) V. *Report of the joint committee for the submarine telegraph.* London 1862 pag. 304 e 305.

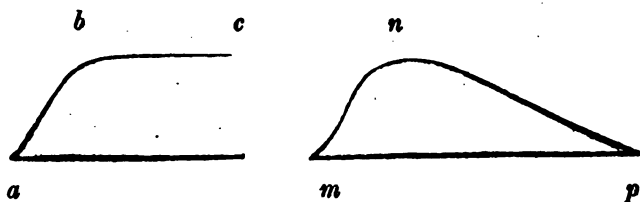
assoluta dell' onda eterea entro il filo non trovasi affatto determinata. Il meccanico Hugues usando delicatissime macchine si convinse che si otteneva tanto più presto il segno quanto esse erano più squisite, talchè argomentò da suoi esperimenti e altri lo dedusse dai fatti di Wheatstone, che tale propagazione sarebbe istantanea in un corpo libero affatto. Ciò però e realmente inammissibile, e pare più ragionevole ciò che conclude il sig. Mariè Davy che possa essere questa velocità identica a quella con cui si propaga la pressione nell' etere libero, cioè quella della luce (1). Questo fisico osservava che benchè il numero di Wheatstone sia maggiore, pure non sarebae andare fuori dei limiti possibili degli errori il ridurlo alla cifra della luce; ma ora che Quinke ha dimostrato che la luce nei metalli può andare più presto che nel vuoto, la cifra di Wheatstone non potrebbe più rigettarsi per questa sola ragione.

Tanto la teoria che l'osservazione ci mostrano che nei conduttori ordinarii la corrente non arriva istantaneamente a tutta la sua intensità su tutta la loro lunghezza, ma per gradi. Così il segno dell'azione chimica fatto da una punta scrivente col telegrafo di Bain quando il filo è lungo e sotterraneo è tenue e sfumato nel suo principio, e poscia diviene più robusto e dilatato, così *a*————————*b*: all' incontro quando cessa la corrente il segno è sfumato in senso inverso *b*————————*a*. Se si abbiano tre galvanometri due ai capi della linea e uno nel mezzo, e si carichi il filo e poi si mettano simultaneamente in comunicazione colla terra i due capi, si vedrà che mentre il primo e l' ultimo galvanometro deviano immediatamente, quel di mezzo è l' ultimo a muoversi. Ciò prova che la corrente si scarica simultaneamente pei due capi del filo verso terra, ed è perciò che i telegrafisti quando

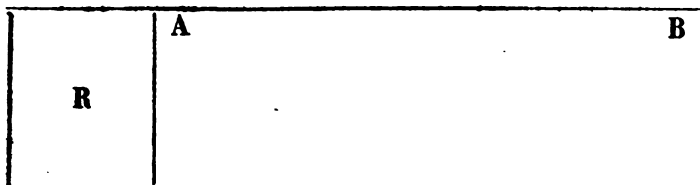
(1) V. Marié-Davy *Recherches sur l'életricité considerée au point de vue mécanique.* pag. 61.

interrompono il contatto colla pila mettono coll'altro capo del loro tasto il filo stesso in comunicazione col suolo per iscaricarlo più presto.

Con queste esperienze dunque si trova soltanto il tempo in cui un filo arriva ad una determinata tensione, in una certa distanza dell'origine, e che la corrente può propagarsi anche in direzione opposta a quella della carica originale. Valenti geometri hanno investigato col calcolo la legge con cui va crescendo la tensione della corrente. Da questo risulta, che la curva che esprime l'intensità quando essa comincia è diversa da quella che la rappresenta quando finisce, e che quando il circuito rimane chiuso e la corrente è permanente si ha nel filo una tensione asintotica *a b c* che può stimarsi sensibilmente costante. Se poi essa si interrompe dopo breve tempo, si avrà in esso una specie di onda della forma *m n p*. Se il filo sia molto lungo e l'onda soffra ri-

tardo per induzione, la forma delle onde si spiana e si confondono le une colle altre e all'uscita formano l'effetto di una corrente continua benchè sieno entrate discontinue, come mostrò l'esperienza..

É difficile, per non dire impossibile formarsi una idea di tali fenomeni supponendo la corrente un mero moto vibratorio, ma riesce facilissimo dietro la nozione di un trasporto di fluido. A tale effetto basta analizzare ciò che accade in circostanze simili nei fluidi stessi. Supponiamo

un recipiente inesauribile d' acqua R dal quale parta un

R	A	B

canale A B di sezione rettangolare a pareti verticali e alte quanto il recipiente stesso. Supponiamo due cateratte A e B per le quali si possa dar corso al fluido, una all'imboccatura A dell'alveo nel recipiente, l'altra allo sbocco B libero del medesimo. Possono darsi tre casi. 1.° lasciata aperta la sezione allo sbocco B sia chiusa la cataratta all'imboccatura A: allora il canale è vuoto. Se in tal caso si toglie la cateratta A, l'acqua si precipita nel canale con una velocità dovuta all'altezza, e forma nel canale stesso una *fronte*, la quale è più o meno rilevata secondo la resistenza delle pareti e del fondo e la larghezza del canale stesso (1). Questo forma ciò che dicesi stato iniziale del moto nel canale.

È facile comprendere che se la sezione del canale sia costante ed eguale alla luce con cui comunica col recipiente inesauribile, il tempo in cui si empirà il canale sarà indipendente dalla sua larghezza, ma se per contrario il canale abbia delle strozzature ovvero delle varici, onde dia luogo a rigurgiti, la sua velocità sarà molto diminuita (Venturi). Dietro questo primo stadio variabile succede un flusso costante. Qui è da osservarsi che il moto iniziale si propaga nel medesimo senso della corrente definitiva, e arriva colla fronte dell' onda allo sbocco libero del canale insieme coll'acqua stessa che prima stava all'imboccatura del recipiente.

(1) Questa fronte si vede bene nelle piene de'torrenti e nell'onda marea negli stretti di mare. Queste similitudini sono in gran parte di Marié Davy.

Supponiamo adesso un 2.° caso; cioè che sia chiusa la cateratta allo sbocco B e aperta quella alla imboccatura A, il canale sarà pieno: se adesso si apra anche la cateratta allo sbocco esterno B, il liquido scorrerà e un'onda si formerà sul liquido del canale che si propagherà colla velocità con cui si propagano le onde liquide nell' acqua stagnante, cioè di una frazione di metro per secondo. Ma quì il moto della prima fronte accade in direzione contraria a quello del flusso che si stabilisce definitivamente nell' alveo, e il flusso comincia immediatamente dallo sbocco cioè dalle parti lontane propagandosi lungo il canale verso il recipiente. È anche manifesto che il pelo superiore dell' acqua considerato nello stato variabile dentro il canale sarà diverso in questo caso e nel precedente.

Si imagini pure un terzo caso: cioè che mentre il canale è pieno e l'acqua vi sta scorrendo si stacchi affatto dal recipiente, e si lascino ambedue le cataratte aperte; l'acqua sgorgherà dalle due aperture e il canale si vuoterà, ma atteso il moto di traslazione che avea l' acqua che da un lato deve mutare direzione, il pelo dell'acqua avrà diversa configurazione ai due capi. Che se l'acqua fosse in quiete nel canale, essa si scaricherebbe ai due capi egualmente.

Questi casi rassomigliano perfettamente a ciò che accade quando una pila è messa in comunicazione con un lungo conduttore. Il primo dimostra ciò che accade in un filo che ha p. es. un capo lontano in comunicazione col suolo, e rappresenta come si esige un certo tempo a caricare il filo, onde si muovono successivamente i tre galvanometri uno dopo l'altro, perchè la sua tensione e quantità di azione in una sezione lontana riesca sufficiente a fare l'effetto dinamico. Le varici dei tubi idraulici qui sarebbero sostituite dal lavoro dell' induzione laterale, e perciò ove questa ha luogo il moto si rallenta. Similmente si rallenta quando il filo è assai resistente: Hipp trovò che il passaggio era più rapido nei fili grossi e più lunghi 200

volte che in fili fini benchè di eguale resistenza assoluta (1). Il secondo ci dà l'idea del modo con cui si scarica il filo quando già carico in tutta la lunghezza si mette in comunicazione col polo negativo o col suolo, onde è che in un filo carico prima si muove il galvanometro ultimo, cioè il più lontano dalla pila e poi il primo ossia il più vicino. Finalmente il terzo è quello di un canapo carico ed isolato, e messo in comunicazione pei due capi con due galvanometri, che al contatto si scarica per i due capi, la corrente andando in due versi opposti: al quale proposito osserva L. Clark che può farsi in modo che l' onda che ha cominciato a scorrere nel filo ritorni indietro, e in certo modo si può richiamare indietro anche il dispaccio telegrafico.

Il tempo che impiega la corrente ad arrivare a stato permanente nei fili aerei è brevissimo, ma misurabile, e per una lunghezza di 500 chilometri di filo aereo telegrafico fu trovato da Guillemin essere 0.ˢ024 (2). Avea egli posto nel circuito al capo presso la pila un interruttore formato di una lamina triangolare fissata su di un cilindro rotante; una molla elastica premente sulla superficie del triangolo, più o meno vicino al suo vertice dava la misura della durata che restava chiuso il circuito, conoscendosi la velocità di rotazione dell' apparato. Trovò così che col crescere de' tempi fino al detto valore la deviazione galvanometrica andava crescendo, ma giunto a 0,ˢ024 non cresceva più. Però tale esperimento conclude solo per la linea su cui fu fatto, giacchè con altra lunghezza e coll'induzione de' sostegni inevitabilmente diversa, in altra linea si deve verificare altro valore. Viceversa posto che fu il galvanometro presso al capo della pila ove era l'interruttore, la corrente era assai più forte, ma il suo andamento era decrescente, e quando la durata della chiusura del circui-

(1) V. B. U. *Archives des sc. nat.* 1859 vol. 4 pag. 350.
(2) *Compte Rendu* T. L. pag. 184.

to era arrivata al medesimo tempo di 0,s024 la corrente diveniva costante. Questo mostra evidentemente che l' elettrico precipitandosi da principio nel conduttore vuoto vi entrava con grande velocità iniziale, che poi andava calando a mano che esso si caricava.

Qnesti fenomeni parlano troppo chiaro, e stabiliscono troppo manifestamente l'analogia del moto dell'elettrico con quello dei fluidi. Noi non diremo che siano assolutamente *impossibili* a spiegarsi con moti vibratorii, perchè prima di pronunziare la parola impossibile, ci vogliono dimostrazioni più rigorose di quelle che ora possiede la scienza e una penetrazione molto maggiore di quella che porti la nostra debole capacità, ma diciamo, che escludendo un moto traslatorio continuo o almeno a modo di ondate, noi non sapremmo come spiegarli. Nel caso dei moti vibratorii nulla noi sapremmo ideare di consimile. Ammettendo una specie di radiazione longitudinale nel conduttore e un assorbimento analogo a quello de'corpi colorati, o de'corpi termocroici, ovvero paragonandoli alla propagazione del calore in una sbarra, tali fenomeni dovrebbero avere tutt' altro carattere. Sarebbe inesplicabile questo precipitarsi più o meno rapidamente del moto nel conduttore, secondo che esso è proveniente da uno stato di vibrazione più o meno intensa, e secondo che i fili sono più o meno grossi, perchè le vibrazioni si propagano con velocità indipendente dalla intensità e dalla sezione. Non si potrebbe capire in tale teoria, senza ricorrere ad una moltitudine di ipotesi arbitrarie, come il movimento possa ritornare sopra sè stesso in un conduttore, e per dirlo con Latimer Clark, come un dispaccio possa esser richiamato indietro nel filo, caso che avviene in parte quando si apre il circuito prima che l'onda elettrica sia arrivata all'altro termine. Un moto vibratorio, cessata che è la causa che lo produsse non ritorna mai indietro, ma seguita sempre a propagarsi nel verso in cui fu spinta l'ondulazione, salvi i casi di vera riflessione che qui non hanno

luogo. Questi fenomeni non accadendo solo nei fili soggetti all'induzione come sono i canapi telegrafici, ma anche nei fili aerei come lo mostrano gli sperimenti testè citati del Guillemin, almeno in quanto possono in questi esser sensibili, non vi deve esser differenza di principio meccanico nel modo della propagazione nei due casi.

Ciò però non toglie che non possa aver luogo nel filo una qualche reazione dipendente dalla elasticità dell'etere, e che in esso il movimento si possa propagare colla velocità stessa del moto vibratorio, il che possiamo illustrare non una similitudine. Se immaginiamo che al recipiente d'acqua sopra citato sia congiunto non un canale aperto, ma un tubo pieno, e questo sia chiuso alla bocca lontana, aprendo questa si stabilirà un disequilibrio di pressione che per l'elasticità dell'acqua si trasmetterà fino al recipiente colla velocità del suono nell'acqua stessa, cioè di 1400 metri per secondo; questa pressione è quella che determina l'efflusso dell'acqua stessa senza che il tubo abbia tempo di votarsi come avverrebbe se essa non si trasmettesse con celerità superiore a quella con cui da esso può uscir l'acqua. Così avviene quando si apre una finestra forzata dal vento esterno al capo di un corridoio assai lungo, che se ne risente immediatamente un altra opposta e si chiude; il che avviene per una pressione trasmessa colla velocità del suono, senza che il vento abbia avuto tempo a scorrere tutta la lunghezza del tubo. Questa è certamente la ragione per cui la scarica di una boccia di Leida comincia al tempo stesso ai due capi di un lungo filo, perchè è solo la pressione che si trasmette con velocità almeno eguale a quella della luce attraverso lo strato coibente che separa le due armature, onde l'etere passa a queste dal filo, o dal filo a queste immediatamente, senza che sia obbligato a fare tutto il corso materiale del filo. Ma nel mezzo si vede un ritardo nella scintilla perchè è in quella sezione che arriva la pressione a equilibrarsi più tardi per

la scarica reale. E così si spiega pure questo fatto senza aver ricorso ad un fluido negativo. Come adunque nei fluidi si può dar diverso modo di propagazione del moto, uno con velocità dovuta all' elasticità, e un altro con velocità dovuta alle pressioni esterne, e da queste deriva una diversa durata nello stato che gl'idraulici chiamano *iniziale* secondo le combinazioni dei condotti, così sarà pure per l'elettrico nei diversi casi.

Tutto il complesso dei fatti ci persuade che i telegrafisti non hanno torto quando parlano dell' elettrico come di un fluido scorrente, e applicano ad esso le medesime terminologie che si usano pei fluidi (1). Essi trovano non solo che i conduttori offrono tutte le particolarità proprie de' tubi, ma che anche la pila fa l' uffizio di un recipiente più o meno abbondante e pronto a caricarli. Infatti più la pila ha forza elettromotrice, più preste sono le loro comunicazioni e più presto sono *riempiti* i loro conduttori: a tale effetto la tensione sola non basta, ma si richiede anche la quantità dell' elettrico fornito in un determinato tempo dalla copia interna dell' azione chimica, onde una pila di Bunsen ha un vantaggio reale sopra una di Daniell, non solo per la tensione ma anche per la quantità.

La teoria conduce ancora alle seguenti pratiche conseguenze. 1.° Quando le dimensioni del conduttore sono supposte costanti e la tensione della sorgente invariabile, la durata della propagazione varia in ragione inversa della conducibilità. 2.° Quando la conducibilità e la sezione sono invariabili come la tensione della sorgente, la durata della propagazione è direttamente proporzionale al quadrato della lunghezza del conduttore (2). 3.° Essendo tutto il resto

(1) V. L. Clark nel citato *Report* ecc. pag. 293 Num. 14.

(2) Anche questa è una ragione per cui in vari sperimenti sulla velocità dell' elettrico i risultati erano diversi, perchè i fili erano inegualmente lunghi.

costante la durata di propagazione è in ragione inversa della sezione. 4.° La durata della propagazione relativa è indipendente dalla tensione della sorgente. La seconda di tali leggi si è trovata vera generalmente, e se non si verificò esattamente nei citati esperimenti di Guillemin, ciò deve attribuirsi a un difetto di isolamento nei fili (1). L'ultima è stata confermata direttamente sui fili telegrafici da Hugues e da Latimer Clark, i quali trovarono che con 10 elementi e con 500 la velocità di trasmissione era la stessa e solo era differente la larghezza e intensità dei segni. La condizione dell'essere i conduttori vestiti, e perciò soggetti a induzione, fa che si diportino come conduttori amplissimi, ma le leggi sono le stesse.

Abbiamo già fatto osservare che dalla verifica di queste formole non si può concludere nulla sulla natura della corrente elettrica, se cioè essa sia moto traslatorio o vibratorio, come non bastarono quelle di Fourier a decidere se il calorico fosse moto o sostanza. Le leggi di Ohm sono relative alle tensioni e specialmente riguardano lo stato iniziale, ma nulla dicono sullo stato definitivo della corrente. L'esperienza ci mostra che esse si verificano anche nei corpi cattivi conduttori come ha provato Gaugain, e di qui si può concludere che devono esser generali anche pei buoni, perchè realmente per l' elettricità non vi sono assoluti limiti di demarcazione in conducibilità tra queste due classi di corpi.

Però nei corpi isolanti una vera comunicazione diretta realmente non esiste, ma solo ha luogo una disposizione moleculare che come dicemmo forma l'induzione la cui indole deve studiarsi a parte; ma prima di far questo gioverà continuare a esaminare altri fatti che presentano le correnti, e che ci gioveranno a capire meglio i fenomeni che sono proprii dei corpi isolanti.

(1) V. Gaugain *Ann. télégraph.* vol. III. pag. 147, e vol. IV. pag. 117 e 126.

§. 8.

Delle correnti indotte.

Tra le più belle e le le più feconde scoperte di Faraday è quella delle correnti indotte: essa ha nella sua storia qualche analogia con quella di Oersted, perchè come questi cercando le attrazioni elettrostatiche sulle calamite trovò le elettrodinamiche, così Faraday cercando l'induzione elettrostatica delle correnti, trovò l'elettrodinamica.

Le leggi fondamentali delle correnti di induzione sono le seguenti.

1.° Ogni qualvolta un filo conduttore percorso dalla corrente si accosta ad un' altro, nell' atto dell' avvicinamento si produce nel secondo una corrente momentanea che è opposta in direzione alla corrente principale: viceversa quando si allontana nasce in esso una corrente che vå nel verso medesimo della inducente. Lo stesso accade quando i circuiti sono vicini e immobili e paralleli, ma nell'uno si trasmette o si interrompe la corrente, poichè all' *atto della chiusura* si ha nel conduttore parallelo una corrente *inversa*, cioè contraria all' inducente, e all' atto dell' apertura una corrente indotta *diretta*, ossia nel medesimo verso dell'inducente. Le cose in questo caso succedono come se la corrente fosse accostata o allontanata da una distanza infinita.

A questa legge fondamentale sul verso della corrente altre se ne aggiunsero sulla intensità e sono le seguenti:

2.° Che la corrente di induzione alla chiusura è uguale in quantità a quella dell'apertura del circuito, ma la durata e la tensione sono differenti, e la diretta è la più forte. Al galvanometro ordinario pertanto si ha la medesima deviazione, il che indica la medesima quantità, ma ciò non decide della intensità perchè il grado di deviazione dipende dal tempo che impiega l'ago a muoversi, e può darsi che la minor forza d'impulso sia supplita dalla sua maggior durata; ma in galva-

nometri delicati e col così detto ponte elettrico le deviazioni sono diverse. Hipp trovò la forza della corrente di chiusura stare a quella di apertura come 1 a 6 e le durate in tempo assoluto sarebbero 0,s 0114 e 0,s0042. Questa ha pure tensione maggiore, talchè colle correnti di chiusura si poteva telegrafare solo a 20 leghe, mentre con quelle di apertura si arrivava a 150 (1). Questa diversità nella forza della corrente fa che un ago magnetico sia calamitato definitivamente dalla corrente di induzione *diretta* come se fosse sola. Così pure il capo di una spirale indotta nella nella macchina di Rhumkorff, mostra la tensione nel verso della corrente diretta, e le correnti *inverse* non possono superare l' interruzione ai poli.

3.° La forza d'induzione su d'un conduttore decresce in ragione inversa della distanza se è frapposto un mezzo isolante; se il mezzo è conduttore si indebolisce rapidamente per l' induzione che questo subisce nella sua massa: ma siccome nessun mezzo è perfettamente isolante o perfettamente conduttore, quindi L'effetto dipende più dalla spessezza e natura del mezzo, che dalla distanza.

4.° Quando la corrente indotta è generata in una spirale a molti giri, ciascun giro contribuisce colla sua corrente elementare alla somma delle impulsioni finali che acquista la corrente indotta, e l' effetto è proporzionale alla somma de' giri. La ragione è manifesta, perchè la prima spira non può pigliar l' elettrico che dalla seconda, e seguenti, e la seconda dalla terza, ecc; onde la seconda quando tocca a lei l' induzione, oltre l'effetto che deve subire per sè, accuserà anche quello che ha subito per l'azione della precedente, e così ciascuna spira subirà uno squilibrio proporzionale al numero di quelle spire che la precedono. Possono così aumentarsi gli effetti dell'induzione, e non solo ottenersi delle correnti, ma anche prodursi delle tensioni

(1) Bibl. Univ. *Archiv. sc. nat.* 1859 vol. 4 pag. 350.

che divengon fortissime, come nelle macchine d'induzione ora in uso, che si possono sostituire in molte cose alle ordinarie macchine a disco: talchè con esse l'elettricità dinamica si converte in statica.

5.° Siccome la corrente primaria produce delle correnti indotte, così le indotte ne producono delle altre di ordine successivamente derivato: ma ognuna di esse tanto al cominciare che al finire producendone due, i fenomeni residui finali si vanno complicando e indebolendo.

6.° La corrente al momento che viene interrotta genera una corrente d' induzione sopra il conduttore stesso in cui corre, e se questa sia deviata in un conduttore laterale, produce ciò che dicesi *estracorrente*. Questa corrente è accompagnata da forte tensione molto superiore a quella della pila, che è manifestata dalla scintilla e dalla scossa assai forte che si ha in un filo molto lungo quando s' interrompe il circuito. L'effetto è maggiore a pari lunghezza se sia il filo avvolto a spirale anzichè teso in linea retta per la ragione detta di sopra n.° 4.°

6.° Le calamite ancor esse inducono queste correnti ed equivalgono in tutto e per tutto ai sistemi di corrente di Ampère. Stante però la forza grande delle correnti magnetiche nelle calamite vigorose, i fenomeni si trovano assai forti e vantaggiosamente in pratica si preferiscono le calamite alle correnti semplici per produrle o almeno si coadiuva colle calamite o col ferro calamitato temporariamente l' effetto della induzione. Dalle calamite pertanto coll'accostarle e scostarle dai circuiti spirali, e col magnetizzare o smegnetizzare, o turbare in qualunque modo lo stato magnetico dei ferri, si hanno correnti assai energiche utilizzabili come le ordinarie a generare luce e calore colle solite leggi già indicate per le altre. La terra stessa operando come una calamita induce queste correnti, e se ne sono avute scintille e decomposizioni. Quindi è che una copia grande di elettrico è messa in moto nello spostamento di un metallo qualunque sul-

la terra, perchè tutti questi moti si fanno in presenza della calamita terrestre; onde se non vi fossero le facili vie che vi sono per neutralizzarsi tanta elettricità nell'interno de' corpi, noi saremmo esposti ad esser continuamente fulminati (Faraday).

7.° I fenomeni scoperti da Arago dell' influenza delle sostanze conduttrici sulle calamite oscillanti e rotanti e che ricevettero il nome di magnetismo di rotazione, sono mero effetto di queste correnti indotte. Esse si sono positivamente deviate da questi corpi cogli scandagli reometrici.

Tali sono i fatti principali di questo vasto ramo di scienza, e non resta che ad investigare il principio fondamentale meccanico da cui dipendono.

Primieramente il fatto della esistenza di una corrente iniziale e finale mentre non si ha vestigio di essa durante la chiusura del circuito, ci mostra che nei corpi circostanti a quelli in cui circola attualmente la corrente, l'etere è in uno stato di equilibrio diverso da quello che avea prima che cominciasse la circolazione. Un tale sbilancio si rende manifesto al momento in cui si stabilisce il nuovo stato di cose, e non può restare sensibile finchè dura la corrente perchè appunto è un nuovo equilibrio che viene presto ristabilito anche nei corpi isolanti che sono frapposti e trasmettono l'azione sui conduttori. Finchè questo dura nulla si scorge, e solo al rompersi il circuito quando deve ritornare lo stato delle cose a quello che era prima pel cessare la corrente allora si ritorna a manifestare lo squilibrio.

Questo sbilancio originato colle correnti, è analogo a quello che ha luogo nei fenomeni di mera tensione, nei quali se un delicato galvanometro si metta in comunicazione con un globo elettrico, si vedrà che all' atto che gli se ne accosta un altro elettrizzato, esso accuserà una corrente fluente dal globo verso il terreno: all'incontro si avrà una corrente rifluente quando si scarica la palla induttrice. Questi fatti ci preparano a intendere lo stato dè

corpi che dicesi di tensione e ce ne fanno vedere la correlazione con quelli di corrente. Talchè l' induzione fa il legame tra i fenomeni detti di elettricità statica e di dinamica.

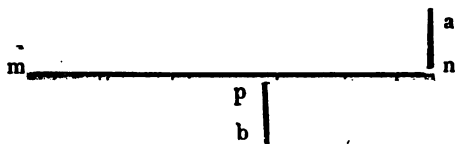
La spiegazione di questi fatti darà lume per intendere le azioni a distanza, poichè realmente abbiamo qui un esempio manifesto di tale azione perchè tali correnti agiscono anche nel vuoto, e operano attraverso ai mezzi isolanti con tutte le proprietà delle così dette *azioni a distanza*. Prima di procedere alla teoria bisogna avvertire che non tutti i fenomeni sopra indicati sono di una specie.

Si devono pertanto distinguere i fenomeni di induzione in due classi: gli uni che accadono nel conduttore stesso percorso dalla corrente, gli altri che accadono nei conduttori contigui. Il primo è quello che si conosce sotto il nome di *induzione di una corrente sopra se stessa*, e che è necessario analizzare in prima, lo diremo *induzione interna*: da esso dipende la cognizione più esatta degli altri che chiameremo di *induzione esterna*.

Quando nel circuito principale si interrompe bruscamente il circuito, si è detto che si osserva un rinforzo di corrente accompagnato da forte tensione (v. sopra n.° 6) Questo fenomeno è perfettamente analogo a ciò che accade in un tubo in cui corre l'acqua quando se ne chiude bruscamente l' uscita. Si sà che in tal caso si ha il così detto *colpo d'ariete*, che sfianca le pareti laterali, e urta la chiave di chiusura, e se vi è un tubo annesso in cui l'acqua possa uscire essa sale in esso ad un altezza assai maggiore, e circa quanta è dovuta alla velocità del fluido. Ciò nasce dalla inerzia e dalla velocità che ha la massa dentro del tubo ossia dalla forza viva accumulata nel fluido corrente, che spinge una porzione della massa sopra il livello del serbatoio. Questo colpo d'ariete ha luogo anche nei gas ed è principio generale

di idrodinamica (1), e non può mancare nell'elettrico, perchè come osserva L. Clark se noi potessimo spogliare l'acqua del peso o l'aria dell'elasticità, le leggi del moto verrebbero ad essere quelle dell'elettrico (2).

La massa elettrica adunque in moto nel conduttore soffrirà all' atto della chiusura istantanea del circuito un colpo d'ariete che si sfoga o nel salto della scintilla all'interuzione del circuito o in quella che dicesi estracorrente. Questo colpo d' ariete è quello che fa che al momento che tende a scaricarsi la corrente il capo del filo mostra una tensione statica molto più forte che quella che ha naturalmente la pila, ed è proporzionale alla lunghezza del filo medesimo. Questo fatto è assai importante perchè fa vedere che le tensioni statiche sono dovute ad un accumulamento di fluido e a una vera pressione che esercita la massa della corrente stessa accumulata. La corrente adunque di induzione generata nel proprio conduttore principale è mero fenomeno meccanico dovuto alla forza viva dell'etere che scorre in esso e che altrimenti dovrebbe arrestare istantaneamente la sua velocità, il che è impossibile.

(1) Pei gas si fa questo grazioso esperimento: sia un tubo principale di gomma elastica *m n*

da cui partano due tubi secondari *pb*, *n a*, che portino due becchi accesi : siano i tubi posti su di una tavola orizzontale. Con pugno dato sul tubo *pb* s' intercetti il corso del gas ; la fiamma del tubo *na* si allunga rapidamente e per la violenza del soffio si spegne. Ciò è quello che accade anche quando si ha simile sistema di tubi coll' acqua, poichè si fa un getto in *a* quando si intercetta il corso in *b*.

(2 *Report of the joint Comittee ecc.* pag. 294.

Questo colpo di ariete ha un effetto indiretto sulla corrente di induzione esterna, ed è di rinforzare la corrente inducente e produrre un' azione come se la corrente principale fosse realmente più forte, e deve tenersene conto nello studio dell'induzione esterna, perchè siccome esso non esiste quando comincia a fluire la corrente ossia al momento della chiusura, ne deve provenire che la corrente indotta alla chiusura sia meno forte che quella della apertura come insegna l'esperienza. Siccome però queste azioni del colpo d' ariete non mutano la massa dell' elettrico, quindi le intensità assolute delle correnti quando si misurano col galvanometro sono identiche, perchè essendo le azioni di tensione in ragione inversa de'tempi con cui si compiono gli effetti, i prodotti restano sensibilmente gli stessi per quei galvanometri che non possono muoversi che lentamente (n.° 2.°). Veniamo adesso all' induzione esterna.

Il principio generale che può servire a spiegare questi fenomeni è quello scoperto dal Venturi, cioè che i fluidi in moto diminuiscono la pressione, e producono anche degli assorbimenti notabili nel mezzo circostante per velocità non grandi. Se questa poi arriva a certo valore la pressione diventa negativa, e fanno grandi assorbimenti laterali, che possono utilizzarsi anche nella pratica. Un caso di questi assai ovvio è quello di soffioni generati dalle cadute d'acqua, e usati nelle ferriere; ma molti sono i casi in cui si verificano gli effetti della comunicazione di un tal moto laterale, e possono vedersi presso il Venturi stesso i fatti che lo comprovano (1). Tali p. es. sono i rigurgiti nei fiumi, l'aspirazione dei vortici e gorghi presso gli orifizi, il moto interno comunicato nei tubi d'organo ec. Questi fatti in genere non erano stati preveduti dalla teoria, ma non deve sorprendere: le equazioni usuali del moto de'fluidi sono state per

(1) Venturi *Sur la communication du mouvement lateral des fluides.* Paris 1806.

un gran pezzo fondate sul principio di eguaglianza di pressione, ed è appunto questo principio che non sussiste punto pei fluidi in moto. È vero che Poisson ha cercato di stabilire tali equazioni con metodo più generale, ma le difficoltà analitiche incontrate hanno fatto che la sua teoria è ancor molto lungi dall' essere divenuta generale (1). Esso stesso nella sua meccanica trova le equazioni solite del moto de'fluidi estendendovi il principio idrostatico dell' eguaglianza delle pressioni, benchè ne confessi l'insufficienza, e dichiari che molti fenomeni dei fluidi in moto possono ricevere la loro spiegazione dalla loro ineguaglianza di pressione nei varii sensi (2). Con tale imperfezione nella scienza teorica è inutile sperare di dare una spiegazione matematica delle correnti elettriche, onde ciò che resta a fare è ragionare *a posteriori*, e servirci delle analogie che certamente non possono persuadere tutti gli spiriti (3).

Andando adunque dietro tali analogie ci sembra molto ragionevole il pensare che le dette induzioni che si verificano nei conduttori possano esser precisamente un caso di tale diminuzione laterale di pressione, la quale non può mancare nel caso che la corrente sia un flusso, come dall'esposto finora non può restar dubbio. Poichè se pure può desiderarsi prova più specificata che decida se essa sia un moto dell'etere semplicemente, o di esso misto alla materia ponderabile, non si può però negare che sia un vero flusso. In tale ipotesi tenteremo di dare una teoria meccanica dell'in-

(1) Poisson. Journal de l'école polytechnique. Cah. XX. Tom. II.

(2) Poisson mécaniq. Tom. II. pag. 665 Paris 1833.

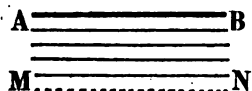
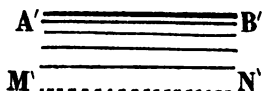
(3) Avevamo scritto queste cose quando ci venne alle mani una memoria del Sig. Frisiani negli atti dell' *Istituto Lombardo* vol. IX. ser. II. 1862, in cui vediamo che l'illustre matematico ancor esso ricorre a questo principio. È da sperare che i matematici prendendo questo fenomeno in considerazione potranno meglio svolgerlo che non può farsi colle semplici considerazioni fisiche

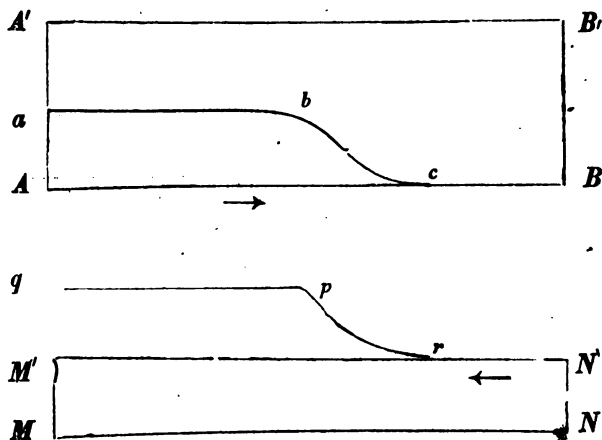
duzione, che servirà se non altro a togliere questo ramo di scienza da quella specie di isolamento in cui si trova rapporto agli altri.

I corpi contigui al filo percorso dalla corrente possono essere conduttori o isolanti: nelle due specie gli effetti saranno diversi. Esaminiamo prima quello che deve accadere negli isolanti. Tutto quello che abbiamo esposto finora sulla maniera di agire dell' elettrico in questi corpi ci persuade che esso non vi può avere che movimenti di trasporto piccolissimi , e non può nemmeno passare dall' isolante al conduttore direttamente senza una grande difficoltà, e a meno che non vi sia spinto da una azione estranea che ne esageri la tensione. Quando adunque un filo è percorso dalla corrente e perciò in esso scema la pressione, tende a nascerne tutto intorno un assorbimento pel quale si costituirà nel mezzo isolante circostante un afflusso da strato a strato verso il conduttore che lascerà deficienti gli strati isolanti più lontani.

Fig. 1. Fig. 2.

A B A′ B′

M N M′ N′

Così se *AB* (fig. 1.ª) rappresenta il conduttore prima dell'attuazione della corrente , e le linee equidistanti rappresentano l'uniforme distribuzione dell'etere nello spazio interposto tra esso conduttore e l'altro *MN*, dopo stabilita la corrente la distribuzione non sarà più la stessa , e l'etere si troverà più condensato presso *A′B′* e dilatato presso ad *M′N′* (Fig. 2.ª), onde il conduttore *MN* per mezzo dell'etere interposto sentirà l'aspirazione dall' isolante immediatamente, ma potremo fare astrazione dal mezzo medesimo interposto, e considerare l'azione di *AB* sopra *MN* come se fosse un azione immediata. Prima di passare a considerare l'azione sui fili

conduttori è però necessario richiamare alla mente quello che fu detto sul modo della propagazione della corrente nei medesimi, cioè che essa non è istantanea, ma che si stabilisce in tempo successivo ed è preceduta da uno stato variabile che dura più o meno secondo l' induzione laterale. Questo tempo benchè brevissimo deve concepirsi diviso in molti altri tempuscoli ancor più brevi, nei quali la fronte della corrente percorre successivamente il conduttore ed esercita la sua azione nel mezzo circostante e per esso sul conduttore. Vediamo ora come la diminuzione di pressione prodotta nell'etere circostante dalla corrente inducente può produrre la corrente indotta. Perciò prenderemo ad esaminare il caso più semplice al quale possono ridursi tutti gli altri, cioè di due fili parallelli, in uno de'quali si trasmette la corrente inducente nell' altro l'indotta.

Sia *AB* il filo inducente, e *MN* l' indotto separati da uno strato sottile, incapace di dar corso all'elettrico, ma però atto a cedere alla pressione. Potremo rappresentare per una linea *A' B'* la tensione naturale del filo *AB*, e per una linea *M' N'* pararella ad *MN* la quantità e pressione naturale dell' etere e dell' ambiente nel filo *MN* avanti che co-

minci la corrente nel filo *AB*. Appena sarà chiuso in questo il circuito la pressione diminuirà e questa dimunuzione potrà rappresentarsi colla curva *a b c*. Questa provocherà in tutto lo spazio circostante un afflusso dell'elettrico per riempire questo vuoto imperfetto. Prendendo le cose in questo stato momentaneo è manifesto che anche il tronco *Mr* di *MN* sentirà l'effetto di tale diminuzione di pressione, attraverso il mezzo interposto , ed essendo il filo conduttore , l'etere del tronco *N' r* affluirà verso il tronco *M' r* per riempire il vuoto, onde si avrà in *MN* una corrente da *N* ad *M* inversa della corrente inducente, e la carica del filo sarà espressa da *qprN'*. Se il filo *MN* è una porzione di un circuito chiuso come suol essere in pratica, i cui capi *M*, *N* comunichino con un galvanometro, l'ago di questo sarà deviato durante l'afflusso da *N* verso *M* e non viceversa perchè la porzione *Mr* stando già equilibrata sotto l'influenza del tronco precedente, non potrebbe contribuire a dare del fluido alla sezione prossima senza distruggere il suo proprio equilibrio. La quantità di etere che trovasi nel filo mentre che circola la corrente deve essere cresciuta, ma la sua tensione non sarà sensibile perchè non fa in realtà che compensare l'equilibrio che era mancato per la pressione diminuita in *AB*, e quando *MN* si trova ridotto a uno stato di carica sufficiente all'equilibrio cessa ogni corrente. Si troverà quindi il filo indotto dopo passato lo stato iniziale della corrente in uno stato apparentemente naturale e senza nessuna corrente permanente.

Esaminiamo ora il caso in cui cessa la corrente nel filo induttore. In questo caso può servire la stessa figura, immaginando rovesciata la corrente in *AB*. Allora la fronte posteriore della corrente inducente all'apertura del circuito è disposta in senso inverso del caso precedente andando da *b* verso *a*. A mano a mano che cessa la sua influenza, nella porzione *N' r* il conduttore *MN* dovrà tornare alla pressione di prima onde l'elettrico accorrerà ove sussiste minor pressione, cioè accorrerà verso il tronco *rpq* cioè an-

drà caminando da *N* verso *M*, cioè nel verso della corrente inducente ossia con moto *diretto*. Questa corrente sarà essa pure momentanea, perchè l'azione si riequilibrerà immediatamente colle altre parti del circuito con cui è in comunicazione. Se il conduttore indotto sia aperto, in luogo della corrente si avrà un sensibile accumulamento dell'elettrico nel senso della ondata verso *N* che darà luogo a una tensione.

La legge fondamentale sarebbe così abbastanza spiegata, ma vi sono diversi accessorii che discendono come corollarii da questa teoria e che gioverebbe discutere per renderla più completa, ma non essendo possibile entrare quì in tutti questi dettagli, basterà a noi toccarne alcuni.

La prima cosa è quella già detta di sopra sulla differenza d'intensità delle due correnti di chiusura ed apertura; si vede quì come la seconda debba esser più intensa, perchè la carica dell'elettrico nel filo và tutta a concentrarsi all'ultimo suo capo, ed è aiutata a ciò dal rinforzo del colpo d'ariete della corrente principale, a cui partecipa pure l'indotta stessa per la preconcepita velocità.

In 2.° luogo le correnti di induzione possono dirsi grandi ondate di elettrico che accorre per stabilire la pressione diminuita nei conduttori vicini, e cessata tale variazione di pressione ritorna all'equilibrio di prima. 3.° La grande diminuzione che esercita l'introduzione tra due spirali di una lamina conduttrice, e le correnti direttamente tratte da queste lamine sotto l'azione dell'induzione, mostrano che questa azione si esercita simultaneamente su tutta la loro massa, e l'induzione essendo effetto di trasporto e non di radiazione si vede che la distanza influir deve non come nelle radiazioni colla legge del suo quadrato, ma in ragione della quantità di massa frapposta che concorre a compensare l'equilibrio (V. n. 2.) 4.° Nella spirale la forma del filo obbligando una spira a prendere in prestanza, per dir così, il fluido dalla seguente, e questa dalle altre è manife-

sto che coll' aumentare il loro numero deve esser più considerevole la differenza di pressione dell'elettrico messo in moto, mentre pel contrario in una massa compatta si esercita lo spostamento tutto ad un tratto. Il vantaggio della struttura spirale è adunque manifesto e il suo effetto può manifestarsi anche nel conduttore primario e rinforzare l'estracorrente. La scarica poi di una spirale a più strati non può essere istantanea ma multipla, perchè uno agendo sull'altro deve generare una specie di ondulazione oscillante. Tale conclusione è dimostrata da positivi esperimenti di Gassiot, che ha trovato che anche aprendo istantaneamente il circuito, o chiudendolo nelle macchine d'induzione, la luce nei mezzi rarefatti è sempre stratificata. Inoltre non deve essere indifferente la lunghezza relativa delle due spirali indotta e inducente, e quindi nascer ne deve una complicazione non piccola nelle dette macchine, ove le condizioni sono estremamente complicate anche dal magnetismo. In esse l'effetto dell' estracorrente è neutralizzato per mezzo di un condensatore che serve a scaricarla e a fare che non ritorni indietro pel filo e così non paralizzi l'induzione già prodotta: e a questo condensatore può essere sostituito un lavoro qualunque che esaurisca la forza viva della corrente. Ma lo spiegare tutti questi dettagli non può trovar luogo in quest' opera, dove solo dobbiamo stabilire i fondamenti principali.

Benchè le calamite siano state da Ampére paragonate ai solenoidi e la loro teoria sia precisamente quella di un sistema di correnti, tuttavia, non si sono potute mai derivare correnti direttamente dal corpo della calamita: la potenza però di induzione che esse esercitano mette fine ad ogni dubbio ragionevole in questa materia, e dimostra che se è impossibile derivarne il flusso diretto, perchè i loro circuiti moleculari non possono da noi aprirsi e incanalarsi nei galvanometri, ciò però può farsi indirettamente mediante lo squilibrio che esse producono nell' etere circostante. Diremo a suo luogo di ciò che caratterizza questa forza:

quì rammenteremo soltanto come queste induzioni esercitate sulle masse deferenti ci diano il modo da trasformare la potenza magnetica in effetto calorifico mediante l'intermedio meccanico.

Trovò Arago (n.° 7.°) che un disco di rame posto sotto un ago magnetico oscillante presto ne fermava le oscillazioni, e viceversa che un disco rotante strascinava seco un ago magnetico. Ciò si riconobbe esser dovuto alle correnti elettriche di induzione destate nel disco. Se ora si rovescia il problema e si faccia rotare un disco di rame tra i poli di un potente magnete naturale o elettromagnete, come fece Joule e poi Foucault, questo disco concepirà pure le correnti suddette , e insieme con esse la sua massa concepirà un moto vibratorio prodotto dalle correnti stesse che innalzerà la temperatura del disco. Tale temperatura però si desta a spese della forza meccanica che muove il disco tra i poli dell acalamita, talchè qualora (usando l' elettromagnete) la corrente non circola e il ferro non è magnetico, la forza richiesta a girarlo è minima , ma all' incontro quando è chiuso il circuito lo sforzo deve essere grandissimo, e talora un solo uomo non basta a muovere un disco di pochi centimetri di diametro trattenuto da un *freno invisibile* fra i poli della calamita. Questa sorprendente sperienza ci prova che la forza meccanica si trasforma in calore, e che il mezzo di trasformazione è la corrente. La forza proviene del vortice magnetico che si manifesta anche in modo più sorprendente sopra un cubo di rame posto fra i poli di una potente elettrocalamita e messo in rapida rotazione : questo, chiuso che sia il circuito, si arresta immediatamente malgrado una considerabile forza di torsione che tende a girarlo.

Ma la cosa più importante che dobbiamo ricavare è la dimostrazione che l'etere nello spazio circostante ai conduttori percorsi dalle correnti , e intorno alle calamite è in uno stato ben diverso da quello che ha attorno agli altri corpi in istato naturale e commune : ma la

impossibilità di assoggetare ai sensi tale disposizione sarà sempre una difficoltà immensa a formarcene una idea precisa. E in fatti se nel moto de' fluidi pesanti, ove pure sono tanti i mezzi di indicazione sensibile, non si è ancora riuscito ad intendere qual sia il giuoco di quelle pressioni che circondano i corpi in moto, non recherà meraviglia che ciò non si possa assegnare che per congettura in un mezzo ove tutto è invisibile, e che è dotato di una maniera di agire tanto differente da quella della materia pesante.

Tuttavia congetturando dietro l'analogia de'fluidi, possiamo formarcene una qualche idea, immaginando che attorno alla corrente principale in ogni conduttore si stabilisca una specie di rigurgito, che nella materia isolante agirà meramente in circuiti infinitesimali, e nella conduttrice stabilirà una circolazione interna finita. In ambi i casi vi sarà uno sbilancio di pressione in tutta la massa, dopo il quale operatosi in una estensione finita, tutto il mezzo circostante si rimette in uno stato novello di equilibrio. Se il corpo sia in quiete, quando le parti una volta siano equilibrate sotto lo stato della novella disposizione, tutto sarà finito; ma se sia in moto, come il disco rotante, allora le parti che subiscono lo spostamento dell'etere interno cambiandosi continuamente, ne avverrà per moto relativo un continuo mutamento di punti di azione e quindi una agitazione nell'etere racchiuso, e da esso una agitazione nella materia pesante e quindi calore. Tale è il meccanismo con cui la sperienza famosa del disco girante serve a convertire in calorico la potenza meccanica mediante la corrente elettrica.

Qui può domandarsi, come avviene che in un filo in cui circola una corrente se ne possa destare un altra che la rinforzi, come deve avvenire nel caso delle lunghe spirali. A ciò rispondiamo che noi possiamo giustamente considerare un filo di sezione anche piccola come un canale di sezione enorme riguardo all'espansione moleculare. In tal caso il filone di massima velocità si stabilirà nell'asse del

filo stesso, e le parti esterne non saranno che proporzionalmente passive , come appunto accade in un fiume nel quale il filone più celere si stabilisce sull' asse dell' alveo. Tutto il resto della materia circondante l'asse potrà divenir soggetta alla induzione di una corrente vicina, e questa poco importa che sia quella stessa che ha già circolato nella prossima spira o in un' altra. Quindi si dà ragione del rinforzare che si fà la corrente d'induzione coll'avvicinare le spire del filo induttore sopra sè stesso, poichè la corrente principale opera sul resto dell'etere che non ha ancora concepito tutta la velocità possibile che può avere, come farebbe una corrente estranea al sistema.

Per tal modo in un conduttore già attuato si possono destare molte altre correnti, e ciascuna ottiene il suo effetto indipendentemente dalle altre , almeno fino a certi limiti, ma quando questi arrivino all' estremo finora non lo sappiamo. Si rileva però dai fenomeni di propagazione che quando la corrente si trova dovere agire su di un circuito lungo, e riviene più volte sopra sè stessa, si rallenta il suo moto: il che mostra che oltre l' inerzia propria dell' etere che costituisce la corrente principale deve esser vinta anche quella dell' etere circostante. Ma siccome la forza che noi possiamo produrre col primo impulso è sempre minima a petto di quella che può esser comunicata a *tutta* la massa dell'etere, così col moltiplicare i giri e gli impulsi della corrente diviene maggiore là massa di etere messo in moto e la sua velocità.

Siccome poi la forma delle ondate al principio e al fine è diversa, e può variare all' infinito colla forma e la resistenza de' conduttori e del mezzo frapposto, e colla maniera di apertura del circuito ecc., così apparisce l'infinita varietà che deve aver luogo nei fenomeni luminosi che accompagnano le scariche di queste ondate tanto nel pieno, che nei mezzi rarefatti; il voler spiegare i quali sarebbe come voler dar ragione delle infinite forme che vestono i getti fluidi

secondo la forma degli orifizi e l'intensità delle pressioni. Tutti questi fenomeni hanno per origine il moto e nel moto risolvonsi, ma senza pregiudizio della teoria restar può oscura la maniera meccanica con cui si compiono certi effetti secondarii.

Concludiamo pertanto questa materia col dire che resta specialmente manifesto dai fenomeni dell'induzione elettrodinamica, che si verificano per l'elettrico le proprietà più singolari del moto de' fluidi, quali sono il colpo d'ariete e la comunicazione laterale del moto; e che inoltre quando la corrente resta intercettata bruscamente, talchè la velocità dell'elettrico si trovi accumulata al capo del conduttore, questo produce l'effetto singolare di mostrare una tensione statica proporzionale alla massa di fluido accumulato e alla velocità da cui è animato. Quindi vediamo più manifesta che mai l'origine e la causa della tensione elettrostatica *che consiste in un aumento di massa e di velocità nell' etere confinato in un conduttore e che trova ostacolo alla sua naturale diffusione*. Questa conseguenza ci sarà assai utile alla spiegazione de'fenomeni elettrostatici.

§. 9.

Soluzione di alcune obbiezioni contro la precedente teoria.

I fenomeni dell'induzione, lo diremo francamente, finiscono di persuaderci quasi nostro malgrado, che l'elettrico è qualche cosa di più che semplice moto della materia ponderabile. Quì le azioni del mezzo isolante e del deferente sono messe a prova, ed è impossibile non conoscervi l'azione di una massa che si trasporta con tutte le leggi dei fluidi. Se altri ci dimostrerà che queste cose accadono senza l'intervento di un fluido estraneo alla materia ponderabile, noi cordialmente applaudiremo, perchè così sarà meglio raggiunto il nostro assunto che è di sbarazzarci dal-

le forze astratte e dagli agenti insensibili, ma per ora non sappiamo ideare nè di meglio, nè di più semplice di una tale ipotesi per spiegare tutti i fenomeni. Noi non ignoriamo che si oppongono delle eccezioni all'accettazione dell'etere, ma non tutte militano contro di noi. Così per noi, pei quali esso è vera materia, benchè in istato diverso dalla commune, non sono fatte le difficoltà desunte dalla sua immaterialità. Non possiamo tuttavia passare sotto silenzio una grande autorità moderna contraria a questa opinione, che rinnovando le idee di Fusinieri altamente proclama che l'etere è un' imaginazione e che non è necessario per spiegare i fatti. Noi senza pretendere che l'etere sia *assolutamente* necessario (giacchè quale è l'uomo che possa pronunziare un' assoluta necessità?) crediamo che almeno gli argomenti opposti in contrario si possono facilmente disciogliere e lo faremo qui brevemente giacchè ci cade opportuno.

Primieramente osserviamo che quelli i quali rigettar vogliono questo fluido universalmente diffuso, lungi dall'escludere gli agenti astratti e immateriali, come sembrano pretendere a prima vista, non fanno in vece che metterli in mezzo, senza però curarsi di attaccare alle parole una significazione fisica. Se anche noi, come essi, ci contentassimo di usar termini convenzionali senza darci pena di intenderne il significato o di formarci una idea fisica del loro modo di agire, nulla vi sarebbe di più facile che piantare una spiegazione di questi fatti senza l'etere. Potremmo dire anche noi, che « le attrazioni e ripulsioni ordinarie dei corpi elettriz-
» zati non presentano più di difficoltà, quando si considerano
» come prodotte da un cambiamento nello stato o nei rapporti
» della materia che ne è affetta, punto più che non se ne trovi
» a spiegare l'attrazione della terra pel sole, o di una palla
» pesante per la terra » (1). Ma quando avessimo detto questo

(1) Grove *Correl. des Forces phys. pag.* 121.

che cosa avremmo noi capito? In che consiste questo cambiamento di stato e questi rapporti di cui si parla quì? E poi come si spiega l'attrazione degli astri e della terra sui gravi? Qui stava il nodo da sciogliere, e col mostrare l'analogia de' due fenomeni esso non resta punto sciolto. O noi nulla intendiamo, o questo è realmente per soluzione di un problema difficile presentarne in risposta un altro più difficile. « Non è richiesta (prosegue l' autore che abbiamo » citato) l'ipotesi di un fluido per spiegare l' azione della » gravità, ed essa non lo deve essere nemmeno per spiegare » questi ». E a chi negasse assolutamente questo argomento, che gli si risponderebbe? Si dirà, come si soggiunge più sotto, *è un mistero!* Ma coi misteri non si fa la fisica, replichiamo noi, e il mistero citato quì dall'autore poco suffraga questa teoria, perchè è appunto in questo mistero che la moderna scienza tende a gettare uno sguardo.

Noi del resto non vediamo nessun assurdo, come sembra crederlo l'illustre Autore, in ciò che la gravità sia effetto della azione di un mezzo. Anzi nell'entrare in questa materia abbiamo diritto di concludere come corollario indispensabile ciò che altri assume come principio. E in verità i fatti ci dicono che una condensazione di etere produce attrazione, dunque manifestamente è trovata una causa di tali fenomeni; onde potremmo argomentare all'incontro così: le attrazioni elettriche sono certo opera di un fluido: dunque un fluido potendo operare attrazioni, potrà anche produrre la gravità; e per sostenere questa proposizione non saremmo punto obbligati a spiegare il *modo di agire* del fluido nel produrre tale effetto. Ma lasciamo per ora la comparazione colla gravità, su la quale dovremo ritornare. Qui solo osserviamo che le attrazioni elettriche benchè forse non differenti nel loro meccanismo e principio da quelle della gravitazione, hanno un lato dal quale lasciano trasparire qualche cosa che non ci mostra la gravità, onde questa potrebbe seguitare ad esser mistero senza che lo fossero le altre.

Altri credono il fluido etereo essere inutile perchè dicono essi, sarebbe inseparabile compagno della materia ponderabile, e perciò un socio non necessario, potendo a tutto supplire le forze della materia stessa. Replicheremo, che mentre tutti i fenomeni di elettrologia ci portano ad ammettere un tal fluido, non ci pare ragione sufficiente di escluderlo perchè esso sarebbe inseparabile compagno della materia ponderabile. L'ipotesi del fluido non sarebbe da rigettarsi ove spiegasse qualche cosa con più facilità, quanto più ora che si è visto che è affatto necessario ammetterlo per tanti altri effetti, onde l' escluderlo in questi in cui ci si offre spontaneo, sarebbe uno scervellarsi inutilmente. In quanto poi alle forze di cui si dice dotata la materia, per le quali essa basta a tutto, noi vorremmo che oltre il *nome* ci si dicesse qualche altra cosa, che ci desse modo da capire in che cosa consistono. Ciò che finora l' esperienza ci mostra per *forza* nella materia pura e bruta è massa animata da velocità: ciò che a questa non si riduce è parto di immaginazione. Se chi esclude l'etere riuscirà a spiegare tutti i fenomeni della luce e dell' elettrico colla materia pesante in moto, abbiam già detto che non avremo nessuna difficoltà ad accettare la sua teoria, e rifiutare l'etere.

Ma l'obbiezione desunta dalla circostanza che la materia ponderabile accompagna sempre l'elettrico, e a cui sembrava dar gran peso il Fusinieri, è riprodotta dal Grove (pag. 127) il quale fa questo dilemma. *Ammettiamo che l'etere penetri tutti i corpi, sarà esso conduttore o non conduttore? se non è conduttore, cioè se l' etere non può trasmetter l' onda elettrica, l'ipotesi cade da sè: ma se è il moto dell'etere ciò che costituisce la conducibilità, allora il corpo più poroso, o quelli che sono più permeabili all'etere saranno i migliori conduttori. Ora ciò non è punto quel che accade.*

Alla prima parte dell'argomento noi risponderemo che l' etere è conduttore, cioè capace di trasmetter l'onda elet-

trica, ma in ciò non è indipendente dalla aggregazione della materia a cui si trova unito; che nei metalli i suoi moti sono liberi, ma negli isolanti e nello spazio sono impediti: tuttavia l'onda si trasmette pure in questi', però in un modo diverso e dipendente da quello stato di costituzione moleculare che lo obbliga alle vibrazioni trasversali. Il quale stato noi non sappiamo a dir vero in che consista, ma pure ne abbiamo assegnato congetturando una ragione (capo 2.° §. 6). Nella seconda parte l'argomento pecca affatto, perchè si confonde con un salto assai destro la *porosità* de'corpi colla *permeabilità* all'etere, che sono cose affatto diverse anche nei moti moleculari calorifici. Infatti l'aluminio, p. es. è assai miglior conduttore del piombo, eppure deve esser molto più poroso essendo tanto più leggiero dell'altro: anzi il ferro e il platino due metalli di cui la porosità è sì bene riconosciuta perfino col passaggio dei gas materiali, dovrebbero essere più conduttori del calorico che gli altri metalli più compatti, il che è falsisissimo. La stessa ragione vale per l'elettrico, sia esso un moto della materia ponderabile o no, non può questa proprietà governarsi colla porosità. Anzi in generale sarebbe lo stesso che confondere la mobilità moleculare de' corpi ponderabili colla loro porosità, e potrebbesi argomentare così: la mobilità de' corpi dipende dallo spazio che sta tra le molecole, ma quelli che sono più porosi hanno più spazio, dunque i più porosi saranno più mobili. Assurdo manifesto, perchè il mercurio e l' acqua sono più mobili certamente e meno porosi del sughero. Quindi il gran dilemma non stringe.

E prosegue insistendo. *Di più se un metallo e l'aria circondante sono tutti e due penetrati dall' etere, come può essere che l' etere nel metallo non iscuota l'etere del gas?* Questa difficoltà è più solida della prima, ma presuppone che l'etere del gas non sia scosso, il che è falso. Esso vi è effettivamente scosso ma nel modo che permette la natura de' mezzi isolanti, che non ammettendo moti longitu-

dinali indefiniti, vi si produce solo un movimento atomico o moleculare, del che ne sono prova i fenomeni di induzione. Il pretendere che l' elettrico di un conduttore comunichi il moto all' isolante allo stesso modo che ha in sè stesso, sarebbe un pretendere che le pareti di un tubo in cui scorre un liquido o un gas concepissero il moto del fluido medesimo! Onde non è mestieri aggiungere alle ipotesi dell'etere altre ipotesi addizionali, ma solo basta ragionare sulle proprietà dell'etere quali ci sono rivelate dall'ottica e dallo studio delle correnti, per riconoscere che è assai diversa la costituzione rapporto ad esso dei corpi isolanti e dei conduttori, e che nei primi *imita* tutte le proprietà de' solidi e nei secondi quelle de' fluidi.

I fenomeni di rottura e di trasporto e volatilizzazione prodotti dalle scariche elettriche, sono certamente effetti che vedonsi nella materia ponderabile, e a questa appartengono, ma possiamo domandare: anche ammesso (il che non è dimostrato finora) che non potesse aversi moto di etere senza concomitanza di materia ponderabile che assurdo ne verebbe? Nulla affatto, ma solo quello che vediamo tuttodì, cioè che il trasporto de' corpi esige la condizione di stare in un mezzo che abbia le proprietà de'fluidi, ossia una indefinita mobilità, e che tale proprietà trovandosi solo nell' interno di una determinata classe di corpi pesanti questi fanno da canale per equilibrare le tensioni generate, siano poi essi canali continui, come sono i fili, o sia che si formi violentemente il tragitto dalla serie delle molecole staccate dai corpi per l'agitazione, per la pressione ecc.

Questo modo di rappresentarci i fenomeni basta a spiegare i fatti più straordinarii delle scariche elettriche senza ammettere delle azioni affatto misteriose e che importerebbero delle trasformazioni di materia, o almeno delle azioni di cui non si ha idea in altri fenomeni. Infatti come concepire p. es. che il vapore d' acqua per solo condensarsi in acqua fredda possa acquistare la forza del fulmine, e

raccogliere le molecole di solfo e ferro da tutta l'atmosfera, ove sono attenuate in spazio immenso come dovrebbe essere seguendo *le idee* di Fusinieri? Per fare tali enormi effetti ci vorrà pure una causa, e siccome il fulmine non è nè acqua, nè ossigene, nè idrogeno, nè altro de' componenti della massa atmosferica in istato attenuato, nè il ferro e lo solfo che esso porta potendo trovarsi in ogni atomo dèll'aria onde possa supplire la materia da formarlo, si dovrà ammettere o una trasformazione della materia elementare, ovvero dire che la causa di tali fenomeni risiede nello squilibrio di qualche materia fuori di quella del corpo stesso, la quale acquistando una immensa velocità, ha anche la forza di trasportare quelle materie se le trova sulla sua strada. I rovesciamenti subitanei della polarizzazione molecülare invocati dal Grove sono un bel modo di indicare i fenomeni, ma vorremmo che ci si dicesse in che consista tale polarizzazione. E se essa è in una semplice disposizione o orientazione determinata de' solidi moleculari o atomici, bisognerebbe che si dimostrasse come possa ridursi all'atto senza un principio astratto, o senza l'influenza di un mezzo che la determini.

Ciò abbiamo voluto dire non per ispirito di critica di un'opera che noi ammiriamo nella bella esposizione del modo con cui una forza fisica si trasforma in un altra, ma solo per rimuovere dalla nostra via l' ostacolo di una autorità di tanto peso e di argomenti seducenti, esposti con arte di eloquenza e di stile inarrivabile.

Se non che mentre alcuni vogliono escluso ogni mezzo che non sia la materia stessa in istato ponderabile, altri estendono questi agenti a un numero superfluo, il che contrasta mirabilmente coi primi. E tale è il caso in questa materia di quelli che ammettono i due fluidi elettrici positivo e negativo.

Io so bene che dalla maggior parte de' fisici molti di questi fluidi sono ammessi più per convenzione di lin-

guaggio che per persuasione di dimostrazione, onde non sarebbero molto renitenti ad abbandonarli. Pei due poi di cui parliamo, non si trova grande difficoltà a ridurli a un solo, perchè nei fenomeni elettrodinamici non facendo essi mai distinta comparsa, tutto si può spiegare con uno di essi per confessione stessa dei più celebri autori della scuola di Dufay. Se questi due fluidi non sono necessarii pei fenomeni dinamici, egli è evidente che non è mestieri ammetterli nemmeno pei fenomeni statici, onde per questa parte si può ritornare alle idee Frankliniane in cui gli effetti del fluido, negativo si spiegano per mera deficienza. E infatti finora nei tanti fenomeni che ci si sono presentati, nulla abbiamo incontrato che esiga necessariamente l' esistenza di questo fluido anzi vedemmo che sono inconcludenti le prove dedotte dalla forma delle esplosioni o delle luci al polo negativo, o la maggior temperatura di questo, perchè dipendendo tutti questi fenomeni da semplici espansioni o movimenti della materia ponderabile, non è dimostrato punto che questi non possano esser diversi dove esce il flusso, che dove entra: anzi può darsi benissimo il caso (come nei fluidi ponderabili) che si abbia agitazione più viva e più tumultuosa dove entrano che dove sortono (1).

Alcuni avvezzi alle mere applicazioni pratiche e a considerare i fenomeni fisici solo dal lato empirico delle utili

(1) Il sig. Du Moncel che ha creduto trovare una differenza tra le correnti voltaiche e le indotte, ha molto insistito sull' essere il polo negativo della corrente indotta quello che più si scalda, però trovansi nell'opera sua diversi casi in cui invece si scalda più il positivo (V. pag. 37 e 38 e pag. 134 della sua *Notice sur la machine de Rhumkorff*). A noi pare che la discussione di queste minuzie sia analoga a quella delle forme delle vene fluide nei getti e dei rispettivi gorghi, che potendo variare all' infinito, non somministreranno perciò mai nessun principio nuovo all' idraulica.

applicazioni, guarderanno come oziosa la questione di uno o due fluidi, perchè in ambedue le ipotesi si dice che si spiegano egualmente bene i fatti. Primieramente risponderemo che anche dato e non concesso che questo fosse vero, sarebbe sempre meglio fare a meno di un principio non assolutamente necessario, il che semplificherebbe l' enunziato de' fenomeni e però la teoria di un sol fluido sarebbe preferibile. Del resto tale controversia se è indifferente pel fisico sperimentatore, non lo è pel filosofo. Al primo basta riunire i fatti sotto alcuni punti generali di vista, ma il secondo vuole ancora conoscere il meccanismo con cui succedono. Spesso egli sarà frustrato nelle sue ricerche, ma non perciò è biasimevole il suo desiderio. Noi crediamo che un savio empirismo, il quale consiste in verificare colla sperienza le deduzioni del ragionamento, sia prezioso, perchè aggiunge piombo e non ali alla umana fantasia sempre troppo disposta a volare negli spazi immaginarii, e perciò in quest' opera abbiam cercato di non dar passo senza esser rischiarati dalla face dell'esperienza. Crediamo pure che giovi tener come fissi certi fatti fondamentali e ridurre tutti gli altri a questi, per iscemare la moltitudine degli agenti ipotetici e alleggerire il peso alla memoria. Ma lo spregiare con grave sussiego ogni ricerca sulla spiegazione di questi stessi fatti, e proscriverla come fosse un delirio, lo teniamo per gravissimo errore, e la scienza nelle epoche sue più belle è sempre stata animata da spirito diverso, e i più distinti scienziati sono anche oggidì ben lontani da tale disposizione. La vera filosofia consiste non nell' immaginare una causa occulta per ogni fatto speciale, ma in aggruppare più fatti che può attorno alla stessa causa. Così ella raggruppa il moto orbitale de'pianeti, colla caduta de' corpi sulla loro superficie, e col moto di flusso e riflusso degli oceani che li ricoprono. Ma se si ferma a tal punto per ora, non è già per lasciare questi fatti come perpetuamente dovuti ad una causa occulta, ma solo provvisoriamente e in aspet-

tazione che essi possano connettersi con altri il cui legame spera di arrivare a conoscere: e il dichiarare impossibile il progresso in questa parte è tanto ardimentoso, quanto il tentare la soluzione di questi problemi prima di aver conosciuto i necessarii termini di confronto.

Ex phaenomenis naturae, diceva il gran Newton, *duo vel » tria derivare generalia motus principia, et deinde expli» care quemadmodum proprietates et actiones rerum corpo» rearum omnium ex principiis istis manifestis consequan» tur, id vero magnus esset factus in philosophia progres» sus, etiamsi principiorum istorum causae nondum essent » cognitae* » (1).

Questo è pertanto ciò che noi desideriamo fare cioè ridurre il più che si può de' fenomeni elettrici al principio del moto. Quindi avendo noi connesso sotto i medesimi effetti di flusso un' infinità di fatti, ci siamo ridotti al punto in cui dobbiamo cercare di congiungervi anche quelli di tensione, e in questo caso, anzichè ricorrere ad azioni astratte ed immaginarie, non esiteremo ad invocare il principio della pressione, perchè è un' altro fatto logicamante e fisicamente connesso con quello del flusso stesso.

§. 10.

Fenomeni elettrostatici.

Sotto questo nome s' intendono principalmente i fenomeni che presentano i corpi elettrizzati per via meccanica di strofinamento, percussione, divisione ecc. Comunemente questi sogliono esporsi dagli autori prima de' fenomeni di corrente, e deve ciò farsi nei trattati ordinarii che hanno per iscopo l' esposizione dei fatti, ma noi che supponiamo

(1) Newton *Optic*. Lib. III. quest. 21.

questi già noti, volendo profittare del gran vantaggio che può trarsi dai fenomeni dinamici per conoscere quelli dovuti alle azioni dette comunemente statiche, li abbiamo riservati in fine. Prima però di ridurre questi fenomeni a una teoria qualunque, sarà bene riassumere brevemente le loro leggi fondamentali.

1.° *Ogni elettricità di tensione presuppone un movimento moleculare preliminare che ne è la cagione.* Alcuni hanno voluto ridurre ancor questi alle azioni chimiche, ma la frizione e le altre azioni meccaniche sono cause abbastanza energiche di movimento moleculare per poterle supporre sorgenti capaci di generare questa forza. Ciò accade talora per azioni assai leggiere, ma é da riflettere che in queste operazioni l'attività si limita per lo più allo strato superficiale, nel quale essendo le molecole più libere, lo squilibrio è subìto con maggiore facilità. Il moto quindi non penetra la massa del corpo nè modifica la sua coesione, ma restringesi d'ordinario a modificare la sua superficie, e il valore della tensione oltre la carica assoluta dipende anche dalla forma del corpo, quindi essa è più energica alle punte, e in generale quanto più sono libere le particelle tanto più facilmente succede la loro agitazione, e spesso anche il distacco.

2.° *La condizione moleculare é anche qui quella che determina fra due corpi, nel resto omogenei, il senso in cui l' elettricità si mostra di un segno o di un altro.* Così di due corpi di eguale tinta e natura si elettrizza negativamente quello che soffre la frizione più concentrata e positivamente l'altro. Un vetro smerigliato e scabro rimane negativo rapporto a uno liscio ecc.

3.° *I fenomeni di tensione non si manifestano che quando i corpi da cui deriva la carica sono disgiunti l'uno dall'altro.* Finchè essi sono a contatto la tensione non apparisce, non già perchè lo squilibrio non vi sia, ma perchè l' azione dell' uno in un senso eguaglia e neutralizza quella dell' altro in senso opposto. In molti casi il corpo

sembra in equilibrio assoluto, ma non vi sta che relativamente, e ciò succede quando si trova nella sfera d'azione d'un altro, come appunto avviene nei fenomeni calorifici, che un corpo mostra un eccesso o un difetto di tensione termica secondo che è trasportato in un ambiente a grado diverso. Quindi è che lo stato elettrico assoluto di un corpo non è noto più che non sia quello della temperatura assoluta, ma ciò non toglie di potere studiare i fenomeni relativi colla stessa precisione.

4.° *Qualunque sia il modo con cui si genera l'elettricità di tensione tanta se ne manifesta di segno positivo quanta di negativo.* Questo si verifica nelle azioni meccaniche qualora si abbia cura di conservare ben isolati i due corpi strofinati, o percossi, o separati violentemente: quando poi si uniscono con un conduttore i due corpi costituiti a tensione, si ottiene la corrente come dalle altre sorgenti elettriche, ma vi è la differenza che le quantità messe in moto sono sempre minime, come lo mostrano le analisi chimiche e le deviazioni galvanometriche, che non si hanno da questa elettricità che con delicati strumenti e usando certe cautele. Ma questi effetti non differiscono che nel grado da quelli che si manifestano in tutti gli altri casi ove ha luogo una tensione elettrica in connessione virtuale colla corrente.

Pertanto la conclusione generale è che l'agente messo in attività in queste operazioni non differisce punto da quello studiato finora, e la sola diversità è che nelle azioni chimiche e termiche la *quantità* è molta e la *tensione* poca, mentre nelle meccaniche invece la quantità è poca e la tensione è molta, e queste sorgenti di elettrico differiscono dalle altre per la circostanza particolare dell'esser limitato il movimento alle superficie. Però la grande questione del sapere in che consista la tensione, e come si spieghino i fenomeni singolari che sotto di essa presentano i corpi, interessa in modo eguale tutte le maniere di eccitare l'elettrico e spiegata per una classe di fatti lo sarà per tutti gli altri.

Dobbiamo adesso pertanto cercare 1.° in che consista questo stato di tensione nei corpi, 2.° quali sono le modificazioni che esso induce nel mezzo circostante, 3.° gli effetti di questa modificazione, cioè i movimenti che ne nascono nei corpi ponderabili.

In quanto allo stato costituente la tensione, fino dal § 1. noi concludemmo non essere esso altro che uno stato di esagerazione di quella forza ripulsiva che anima la materia, anche quando ci sembra in quiete. La natura di questa forza ci è venuta meglio schiarita dai fenomeni studiati appresso relativi alle correnti. Queste ci hanno dimostrato che que' corpi che chiamiamo in istato di corrente elettrica sono animati da un movimento intestino perfettamente analogo a quello de'fluidi, e sono state provate tra la *tensione* e la *corrente* le relazioni seguenti:

1.° Ogni tensione elettrica è capace di dar luogo a una corrente, sia essa un vero flusso di materia eterea semplice, o dell'eterea mista alla ponderabile.

2.° La circolazione di questo flusso impedita comunque dà luogo reciprocamente a una tensione.

3.° Che se questa corrente nell'atto stesso della circolazione venga bruscamente interrotta, si produce un eccesso di tensione positiva a quel capo a cui tende la materia in movimento, e una negativa al capo opposto, come dovrebbe accadere per la velocità preconcepita di un fluido.

Quindi è manifesto che *la tensione non in altro consiste che in un accumulamento di elettrico nel corpo che dicesi elettrizzato in più, e in un difetto in quello che dicesi elettrico in meno, e che l'azione della tensione è in tutto analoga a quella forza che nei fluidi costituisce la pressione.* E deve esser questa pressione che trasmettendosi dal corpo elettrizzato nel mezzo circostante, dà luogo ai fenomeni di attrazione e ripulsione che presentano i corpi elettrizzati.

Tale è il concetto che risulta spontaneo dalle cose studiate intorno alla corrente, ma che ha bisogno di non

piccolo sviluppo per essere messo in armonia colle idee ricevute, su di cui i fisici sono grandemente divisi.

Primieramente osserviamo che la teoria della pressione in Italia non è nuova, e che i vecchi elettricisti l'ammisero molto comunemente, ma negli ultimi tempi si era abbandonata per seguire la teoria de'due fluidi, o per dar corso alle forze astratte di attrazione e ripulsione da cui si suppose animata la materia e l'elettrico.

La nostra discussione pertanto qui ci porta a vedere se tali forze astratte siano assolutamente indispensabili, ovvero se possano ridursi anche questi effetti a risultati meccanici, dovuti a uno squilibrio di pressione nell'etere. È manifesto in prima che in ravvisandoli come effetti di pressione non vi è nulla di ipotetico, ma una semplice deduzione rigorosa, perchè posto che siavi *corrente* impedita, questa deve produrre una *pressione*, e nulla di più logico che attribuire a questa causa que' fenomeni che l'accompagnano continuamente, come sono l'induzione statica e le attrazioni e ripulsioni. Onde non può negarsi che tale pressione sia la causa di tali fenomeni, ma ciò che resta a fare è il passo ulteriore, cioè di *mostrare come questa pressione possa dare origine ai fenomeni che accompagnano le tensioni elettriche.* Questo problema è diverso dal precedente, e ai rigorosi empiristi potremmo dire, che non ci curiamo di sapere *il come*, e che ci basta sapere che così va il fatto, cioè che ogni volta che si ha sbilancio della dose naturale di elettrico in un corpo, si hanno moti di tal genere che diciamo di tensione con attrazione e ripulsione.

Così potremmo rispondere: ma chi non è puro e materiale empirico di ciò non sarebbe certamente soddisfatto, e noi candidamente confessiamo aver desiderio di vedere le cose un poco più addentro, e lasciamo volentieri da parte coloro che credono una affettata riservatezza esser pallio sufficiente a coprire l'ignoranza. Nel medesimo tempo però non daremo le seguenti idee che come con-

getture, e solo nella speranza che possano eccitare altri a suggerirne delle migliori.

Il fatto fondamentale che cercasi di spiegare è questo: come nascono le attrazioni e ripulsioni statiche nei corpi elettrizzati? La moda invalsa è veramente quella di spiegare tutto con forze astratte di attrazione e ripulsione, la cui esistenza non si prova che da *questi stessi fatti*, e perciò sono enti ipotetici. Ma prima di ammettere questi enti ideali dovrebbe esser stato dimostrato che tali effetti non possono spiegarsi altrimenti, onde un tentativo opposto non è punto biasimevole. Questo tra gli altri vantaggi avrebbe quello di una grande semplicità, perchè è un grave inconveniente l' ammettere una tanta moltiplicità di forze quante se ne ammettono comunemente. Queste forze o si concepiscono applicate a due fluidi uno positivo l' altro negativo, ovvero si immaginano agire nella materia stessa per mezzo di *polarità* che deve operare ancor essa a distanza.

In quanto ai due fluidi abbiamo già detto la nostra opinione. Contro quelli poi che tutto vogliono ridurre alle polarità noi crediamo che abbiano ragione coloro che tal causa dicono illusoria. Infatti è evidente che se per polarità intendansi due *forze statiche eguali perfettamente e contrarie* concentrate alla estremità di una molecola infinitamente piccola, l'azione risultante di questo sistema al di fuori deve esser semplicemente nulla, o almeno deve seguire colle distanze altra legge da quella del quadrato che indica l'esperienza. Sarà nulla se la distanza de'poli è infinitamente piccola, sarà poi in ragione inversa de'cubi delle distanze se la distanza de'due poli opposti non è trascurabile (1).

(1) Le azioni a una distanza D si esprimeranno pel polo positivo per $\frac{M}{D^2}$ e pel negativo per $\frac{-M}{(D+x)^2}$ Se x è infinitamente piccola e trascurablie per la distanza finita evidentemente i termini sono eguali, se non è trascurabile che nelle potenze superiori alla 3.ª, la differenza agirà come il cubo inverso delle distanze.

Ho detto *eguali*, perchè senza ciò perisce l' idea di vera polarità, e si forma una forza arbitraria che non ha senso in natura. Inoltre su questa polarità può domandarsi: è essa inerente ai corpi in modo assoluto o è solo accidentale? Se inerente in modo assoluto, come è che i corpi alternativamente e per cause insignificanti pigliano or l'una or l'altra: se è accidentale, siamo da capo e bisogna trovare un agente che determini ogni volta il verso di questa polarità e così la forza stessa principale avrebbe bisogno di una causa determinante, onde sarebbe un formare una serie di cause senza fine. Di più resta sempre a capire che cosa sia questa polarità. La sola vera idea che io conosca di esatta polarità è quella di Ampère per mezzo di rotazioni molecculari, le quali benchè minime esercitano però sempre una azione eguale ed opposta ai due lati. Di tale polarità nella meccanica ordinaria non se ne ravvisava dianzi nessun caso preciso, ma ora mercè le belle scoperte de'corpi rotanti, e delle composizioni delle loro rotazioni ne abbiamo degli esempi insigni e degni di essere profondamente meditati e applicati; ma queste polarità non servono alla spiegazione de' fenomeni elettrostatici.

Il Bizio ha dato una teoria molto ingegnosa delle polarità chimiche dipendente dalle leggi dell'equilibrio: se immaginiamo dice esso che le molecole abbiano volume diverso, quando esse sono accollate insieme il centro di gravità non sarà più quello di figura, quindi la risultante delle forze della corrente deve orientarle in modo che tutte le parti presentino il centro di gravità nella medesima posizione rapporto alla figura esterna, (come accade in una serie di aerometri galleggianti) onde tutte le molecole più piccole saranno dirette in uno stesso verso, e si avrà una polarizzazione. Ma nè anche questa teoria può esser sufficiente, perchè sempre resta a cercare quale sia la causa che dispone così quelle molecole. Sicchè la polarità non può far le parti di una forza fonda-

mentale, benchè ammessa l' esistenza dell' etere, con essa possano spiegarsi molti fatti al modo indicato dal Bizio.

La maniera più commoda è certamente quella di spiegare i fatti coll'ammetter forze astratte, operanti a distanza, ma la loro moltiplicità ha spaventato tutti quelli che si sono accinti a farvi riflessione. Infatti per fermarci anche sul tentativo più applaudito, che è stato quello del Mossotti, è necessario ammettere un numero stranamente grande di forze con limiti arbitrarii. È mestieri ammetter 1.° una ripulsione tra elettrico ad elettrico, 2.° ripulsione tra materia e materia, 3.° attrazione tra l'elettrico e la materia, 4.° limitare la ripulsione ad esser minore delle attrazioni per non urtare di fronte la gravitazione universale. Il vedere almeno se tutte queste forze siano indispensabili è degno del filosofo, per non incorrere nella taccia che meritarono gli antichi fabricatori del sistema del mondiale cogli epicicli, cioè di aver ideata una creazione che ogni uomo poteva immaginare più semplice.

Veniamo adunque ad analizzare ciò che costituisce la natura della tensione, prendendo sempre le mosse dall'osservazione dei fatti. In prima dobbiamo avvertire, che essa non consiste in un accumulamento a distanza di veruna sostanza, nemmeno dell' elettrico stesso, come fu creduto dai vecchi elettricisti e da alcuni moderni che ammisero delle atmosfere elettriche attorno ai corpi: teoria che fu rigettata dietro più accurate sperienze. La carica elettrica non si estende oltre il limite della superficie fisica del corpo, nè lo abbandona altro che per comunicazione con un un altro corpo conduttore, e se il mezzo da cui il corpo è circondato sia perfettamente isolante essa si conserva indefinitamente sul corpo. Grove assicura che per settimane intere continuano nel vuoto a divergere le foglie d'oro di un elettrometro. (1). In ciò la tensione elettrica differisce

(1) V. Grove *Corr. des forces*, pag. 120.

dalla termica la quale si diffonde molto più facilmente ed è molto meno coercibile.

Però, benchè non esistano tali atmosfere elettriche, siccome i corpi stessi i più isolanti offrono un lento passaggio all'elettrico, così tal carica sempre si diffonde un poco oltre il limite geometrico delle superficie che ne è la sede, e ciò tanto all'interno che all'esterno. Si è già indicato altrove che nel vetro la carica penetra fino a certa profondità: così accade ne'mastici, e nelle resine come ne fanno fede le figure che su essi tracciansi con una punta elettrizzata, le cui linee hanno sempre una certa larghezza, onde i corpi hanno bensì una piccola e debole conducibilità, ma non mai rigorosamente nulla. I calcolatori possono fare astrazione dalla spessezza dello strato di carica elettrica, ma pei fisici ciò non è possibile.

Il concetto pertanto della carica a cui siamo condotti dai fenomeni suindicati è, che un corpo, per esempio un metallo carico per tensione positiva, abbia uno strato di etere più condensato alla sua superficie, e viceversa uno negativo lo abbia più rarefatto, e dobbiamo esaminare che effetti può produrre. Primieramente osserviamo che questo etere non può esser spoglio di quell'espansione ed agitazione naturale che ha in tutti i corpi, e che ricevè al momento in cui si separò dal corpo che gliela comunicò, quindi esso deve agire con forza espansiva proporzionale alla sua nuova densità sull'etere naturale de' corpi circostanti, e dello spazio libero che gli è a contatto. Se il corpo sarà deficiente o in istato negativo dovrà allora considerarsi l'azione come proveniente dal mezzo naturale circostante. Cotesta azione diciamo che deve essere analoga a quella di una pressione, ma però sempre colla differenza fondamentale, che la pressione di un fluido è fenomeno meramente statico, che resta elisa dalle pareti del vaso e non può agire a distanza fuori di esso; al contrario nell'elettrico la tensione è un vero fenomeno dinamico originato da aumento di densità, è accom-

pagnato necessariamente da ulteriore agitazione e movimento: di più il mezzo esterno non è separato per nessuna superficie dirimente insuperabile, onde può costituirsi nel mezzo circostante uno stato forzato diverso da quello che avea luogo prima che si attuasse la tensione. Giova insistere su questa differenza molto sostanziale , e ricordarci che ogni tensione elettrica è realmente il risultato di un effetto dinamico, sia chimico, sia calorifico, sia meccanico nel quale si può concepire sempre il medesimo principio di accumulamento e aumento di forza ripulsiva a cui siamo stati condotti studiando le correnti indotte. Laonde è impossibile concepire che quello strato di etere condensato che sta alla superficie sia privo di forza espansiva e in quiete assoluta.

Ciò posto il suo equilibrio rapporto ai corpi vicini non dipenderà più solamente dalle forze dell' etere accumulato sul corpo, ma anche da quelle che si sviluppano per la sua presenza nel mezzo circostante. Ora la natura de' corpi contro cui si esercita tale azione può esser di due specie, e l'etere o vi ha libero il corso o il suo moto vi è impedito, e nei due casi produrrà effetti diversi.

Accadrà qui un effetto analogo a ciò che accade nelle forze meccaniche quando alcune di esse sono applicate contro i corpi, ed elise della loro resistenza, nel qual caso si hanno effetti di ordine diverso nei fluidi e nei solidi: nei primi la pressione si diffonde egualmente per tutti i versi, nei secondi invece si sviluppano delle forze parziali interne, talchè l'equilibrio si ha tra le forze *esterne* e le *interne* che si sono sviluppate per le applicazioni delle esterne stesse. L'azione dell'elettrico sui corpi deferenti sembra essere della prima specie e sugli isolanti è piuttosto paragonabile alla seconda. La parola pressione è veramente la migliore che possa usarsi in questa materia, onde non sarà inutile una breve analisi di questi effetti.

Consideriamo per un momento qual è l' effetto di una

pressione estranea sopra un mezzo cedevole, ma non dotato di mobilità fluida illimitata in tutti i versi, qual è p. es. l'effetto di una massa pesantissima posata sopra una serie di lamine leggiermente compressibili, come gli strati di un legno. Ciò è notissimo: il peso produce una flessione notabile nel primo strato una minore nel secondo, perchè si condensa un poco il primo strato stesso, una minore ancora nel terzo e via discorrendo. Per l'azione di questo peso però si sviluppano nell'interno del corpo delle reazioni che non aveano luogo prima della sua applicazione, e deve stabilirsi l' equilibrio trà l' effetto della gravità e queste stesse forze sviluppatesi. Il peso non riesce a rompere o a penetrare nel primo strato se non è animato o da una carica superiore alla resistenza del mezzo e alla coesione delle molecole del corpo, ovvero da una velocità la quale in tempo brevissimo eserciti una pressione di egual valore.

Questa considerazione ci aiuterà a capire ciò che accade in un mezzo isolante a contatto con un corpo elettrizzato. Crediamo quasi inutile però avvertire che noi non diciamo punto che i corpi isolanti siano composti a strati, nè che in essi l'etere vi sia in istato solido e abbia una *coesione*: quest 'ultimo specialmente sarebbe assurdo. Il termine di confronto non istà nella particolar specie delle forze, ma nella circostanza generale dello svilupparsi certune di esse nell'interno de' mezzi isolanti, per cui l'etere non ha in essi corso libero come lo ha nei metalli, onde benchè non esista coesione tra le sue parti, le forze che si sviluppano possono all' esterno produrre effetti *simili* a quelli che la coesione fa nei solidi ordinarii, in quanto *impediscono il moto e mutano la densità*. È noto che anche i geometri nel trattare i problemi delle flessibilità e di certe resistenze, considerano le molecole animate da forze che si sviluppano per l'azione delle forze estranee, senza curarsi dell' origine loro nei singoli casi e le denominano *forze passive*.

Quel che resta a provare è se realmente si debbano

ammettere negli isolanti tali forze e che prove ne dia la teoria loro moleculare. Che vi siano negli isolanti alcune forze che impediscono i moti interni dell'etere non può negarsi, giacchè in questi corpi l'elettrico non gode di quella mobilità che ha nei metalli. Mentre in questi la carica si diffonde egualmente in tutti i versi, appunto come una pressione in un liquido, negli isolanti tal diffusione non accade, nè abbiamo realmente per rappresentarci tale effetto altro termine di paragonare migliore che quello delle pressioni e dello stato moleculare de'solidi. Dietro la dichiarazione che ne abbiamo fatta non parrà punto strana questa simiglianza. Che vuol dire infatti che in questi l' elettrico non scorre per tutti i versi ? non vuol ciò dire che vi sono forze che lo ritengono ? Che vuol dire che in una verga isolante persevera una tensione decrescente da un capo all' altro finchè all'altra estremità non se ne ha traccia? non vuol ciò dire che tale moto è impedito e che si ha un disquilibrio persistente di etere , appunto come in un solido premuto si ha una diversa densità negli strati? In una parola il moto impedito dell'elettrico negli isolanti ci si presenta sotto l'aspetto perfettamente analogo a quello con cui la pressione si esercita dai gravi sui corpi cedevoli, ma non fluidi, mentre la distribuzione nei conduttori è perfettamente analoga alla propagazione della pressione che si diffonde egualmente per tutti i versi ne'fluidi. Notisi bene noi diciamo analogo e non identico: perchè proponiamo un confronto e non una equazione.

Nè queste forze sono foggiate solo per spiegare questa specie di fenomeni, nel qual caso nulla concluderebbero. L'esistenza loro ci si rivela come notammo già altrove dai fenomeni della luce. Noi vediamo nei corpi diafani il mezzo etereo, benchè fluido, pure esser così connesso colla materia ponderabile che ne segue tutte le affezioni , fino ad aver dato luogo a credere che il moto vibratorio si propagasse per la stessa materia ponderabile. La pressione per esempio sviluppa in un vetro delle variazioni di densità a strati di

forma concoide ai quali corrisponde una diversa densità dell' etere intestino del corpo, che diviene sensibile colla luce polarizzata: e nel modo stesso che una verga di legno compressa stringe e inarca le sue fibre, così l'etere interno si trova più o meno condensato nei varii strati della materia ponderabile, onde malgrado la sua fluidità la pressione non si propaga egualmente per tutti i versi.

Ora se una pressione meccanica può produrre nei corpi diafani tale condensazione nell'etere, perchè nol potrà fare quel principio che costituisce l'elettrico, dotato come è di somma forza espansiva? La possibilità evidentemente non può negarsi, stante l'identità di natura de' corpi che sono gli stessi nei due casi, perchè i diafani sono gli isolanti e gli isolanti sono i diafani.

Al primo attuarsi pertanto dell'elettrico in un corpo, il mezzo circostante isolante si costituisce in un nuovo stato di equilibrio tra la forza impellente e condensante dell' etere aggiunto, e le forze che si sviluppano nel mezzo medesimo per azione di queste stesse pressioni, e la carica non potendo diffondersi nè trasportarsi nel mezzo isolante, vi produce uno stato di diversa densità che decresce colla distanza dal corpo stesso.

Se la quantità dell'etere condensato sia più grande di quella che vi possa trovar luogo o la violenza dell'agitazione da cui è animata superi la coesione delle molecole del corpo, potrà produrre anche la rottura di continuità del mezzo ponderabile, e si avrà la scarica, nella quale verrà strascinata una porzione di materia ponderabile, come quella che dà passaggio longitudinale più agevole e con essa anche l'etere si equilibrerà all'altra parte. È manifesto poi che il corpo rimasto dallo stropicciamento in difetto o negativo subirà l stesse fasi e le stesse azioni da parte de'corpi circostanti el rapporto a lui sono in vero stato positivo o in eccesso, sen che vi sia bisogno di ammettere nè anche per ciò un v fluido negativo, giacchè tutto si riduce alle differenze d

pressioni, per le quali tanto è aumentar una mentre l'altra rimane in stato naturale, quanto lasciare in istato naturale la prima e diminuire di altrettanto la seconda. Lo stropicciamento e le azioni meccaniche fanno in certo modo quello che si vide accadere nella spirale indotta dalla corrente, colla differenza che la spirale assume una tensione nell'atto che l'azione della corrente che comincia e finisce sbilancia la pressione, specialmente col colpo ariete, mentre che quì tutto accade tra molecola e molecola, ma sempre si verifica che ogni elettricità statica conseguita ad una azione dinamica.

Nè si creda che vi sia mestieri dello squilibrio di grandi masse dell'etere per ottenere effetti sensibili. Le cariche di tensione sono sempre piccola cosa in confronto della quantità dell'etere costitutivo de'corpi. Sono noti in questa parte i lavori di Peltier, Faraday e Stokes; il secondo di questi crede che tutta l'elettricità che si manifesta in un temporale non basti a decomporre un grano d'acqua: e l'ultimo trovò che l'elettricità capace di decomporre questa quantità di acqua, se fosse condensata sopra due punti a un piede di distanza produrrebbe per un minimo una attrazione di più che 10 tonnellate e potrebbe forse arrivare fino a 42 (1). L'analogia del resto delle pressioni eteree colle meccaniche si sostiene anche nelle circostanze le più secondarie. Così vediamo l'efficacia delle punte nel penetrare i mezzi per pressione, ed è cosa altrettanto nota essere efficacissime le punte in elettricità. Così pure una scarica rapida e concentrata può rompere e penetrare i corpi molto meglio che una egualmente forte, ma più diffusa e dispersa. L'analogia colle scariche di un fluido che esce da una superficie ampia ovvero per un augusto canale che accelera il suo moto, e quella di un'onda che per mancanza di fondo del canale si rialza

(1) Stokes *procedings of the R. Soc.* vol. VIII pag. 398.

si conforma in cresta, si vede nelle scariche colà ove si estringono a conduttori angusti perchè quivi aumentano la celerità e l'agitazione del mezzo. Ma ciò che spetta la distribuzione della carica su di un conduttore qualunque, ciò sarà mero lavoro del calcolo, dietro il principio su esposto, che la pressione deve scemare in ragione inversa del quadrato della distanza da un centro di pressione comparabile ad un punto.

Tale è l' idea che secondo tutto il complesso de' fenomeni sembra che dobbiamo farci della carica e della distribuzione dell'elettrico nei mezzi isolanti. Nè recherà meraviglia che ammettiamo in questi una ineguale distribuzione di pressione, fondati sempre sul principio che in questi corpi anche per la luce le pressioni non si diffondono egualmente per tutti i versi. Quindi noi possiamo ammettere *la stessa* proprietà *negli stessi* corpi anche come proveniente dalla pressione relativa dell'etere condensato. Sicchè quantunque non avessimo altra ragione, la proprietà che noi invochiamo non sarebbe una causa coniata apposta per questi fatti ma un corollario di altra dottrina, onde o negar quella o ammetter questa. Del resto non si opponga che sarebbe questo un negare il principio di egual pressione de' fluidi, perchè questo principio non si può applicare altro che nel caso che non si sviluppino nel mezzo delle azioni che contrastino a questa diffusione.

Ma la difficoltà principale ad ammettere un modo di azione dell'elettrico per via di pressione, non nasce dai fenomeni che si svolgono nei corpi isolanti, nei quali tale maniera riesce assai bene intelligibile, ma nasce da ciò che una simile azione dovrebbe ammettersi nell'etere libero, cioè nel vacuo, il quale pure è isolante e attraverso il quale si trasmette la tensione elettrica, ma nel quale non si saprebbero ideare disposizioni analoghe a quelle che si trovano nei solidi isolanti.

A questa difficoltà noi rispondiamo, che delle forze ca

paci di produrre tali effetti esister devono non solo dentro i corpi diafani, ma anche nell'etere libero, e devono essere appunto quelle stesse da cui dipende la propagazione traversale delle vibrazioni luminose. Le vibrazioni trasversali dell'etere non possono negarsi, ed esse suppongono certe forze intestine che non permettono eguale mobilità alle molecole nella direzione dell'urto e nella laterale al medesimo, e questo è un principio che può esser sufficiente per la spiegazione de' fenomeni elettrostatici. Perchè ammesso che il moto longitudinale nell'etere sia impedito, quando nasca alla superficie di un corpo una pressione che tenda a produrlo, esso non potrà fare altro che costipare gli strati contigui successivamente con proporzione descrescente colle distanze. Nello spazio libero le vibrazioni longitudinali finora non si conoscono: Fresnel e i geometri dopo di lui si contentano di ammettere la possibilità di certe forze interne per le quali si propaghino tali vibrazioni trasversali, ma ci lasciano affatto all'oscuro sulla loro origine. Ammessa tale struttura del mezzo fu obiettato a Fresnel che essa era piuttosto quella di un solido, che d' un fluido; ora ecco che fuori d'ogni aspettazione dai fenomeni elettrici noi siamo condotti alla stessa conclusione: e la condensazione dell'etere nello spazio per strati di densità descresente a cui ci portano i fenomeni elettrostatici, ci fanno in parte ravvisare l'etere con proprietà analoghe a quelle de' solidi; non già (ripetiamolo pure) perchè in esso vi sia coesione di molecole , ma per le forze che in esso si sviluppano ad occasione delle pressioni estrinseche.

Il detto fin quì basterebbe per togliere qualunque taccia di novità alle nostre idee , che così vengono ad esser messe sotto l'egida di un grande patrocinio, e si vedono riuniti insieme due specie di fenomeni creduti disgiuntissimi cioè la luce e l' azione elettrostatica. Ma sempre resta a cercare d'onde possono derivare queste forze, le quali siano capaci di dare all'etere tali proprietà. La difficoltà non ci

sembra insuperabile , perchè è evidente che per produrre tali effetti è sufficiente che l'etere non abbia le molecole egualmente mobili per tutti i versi, la quale è la condizione fondamentale da cui dipende l'eguaglianza di pressione nei fluidi. Ora per togliere tale mobilità basta ammettere quello che già indicammo appunto trattando della luce. Ciò consiste in considerare il mezzo come composto di atomi in rotazione: in tal caso l'impulso non può avere punto il suo effetto egualmente per tutti i versi, e solo in minima proporzione nel senso longitudinale da cui appunto dipende la condensazione e dilatazione. Così gli atomi non si muovono più egualmente in tutte le direzioni come quelli di un fluido ordinario, e cessa di essere eguale la diffusione di pressione per tutti i versi, come nei fluidi liberi. Così uno strato di atomi quando per la pressione di un altro contiguo è determinato a spostarsi non potendolo esso fare indefinitamente, non farà altro effetto che addensare alquanto il suo contiguo e questo il successivo e via discorrendo. Se la pressione parta da un punto unico, crescendo la massa in cui essa si diffonde come il quadrato della distanza , la condensazione del fluido sarà in ragione inversa del quadrato medesimo, il che basta a spiegare la legge fondamentale con cui decresce la forza elettrica. Secondo poi la forma del conduttore la legge sarà diversa a norma del calcolo ordinario.

Per svolger meglio questa idea imaginiamo un centro di agitazione in un mezzo costituito di atomi. Si devono distinguere due casi: o gli atomi si suppongono in quiete o in rotazione. Se sono in quiete e non elastici, ne nasce un moto di trasporto simultaneo che nulla produce, tranne uno spostamento lineare nella direzione dell' urto. Se sono elastici generano un' onda, e tutto il moto passa alla sezione seguente. Ma se sono in rotazione questo moto resta impedito, e non può trasmettersi che in piccola parte agli strati lontani, perchè oltre i moti di riflessione e che producono i fenomeni di elasticità devono considerarsi quelli di con-

versione, (pag. 39), talchè mentre una porzione del movimento passa a distanza, un' altra resta inerente e in certo modo imprigionata nella massa, donde ne nascerà una pressione sugli strati contigui, maggiore nei più vicini al centro di scotimento, e decrescente colla distanza. Così deve adunque aver luogo una energia di attività decrescente anche nel mezzo etereo libero che sussisterà più o meno a lungo secondo la facilità con cui tali moti possono diffondersi. Da ciò apparisce l'analogia tra i fenomeni dell'elettrico e del calorico , e senza invocare forze nuove ed astratte, si riducono a uno stesso principio fenomeni fisici differentissimi luce, calorico, elettricità i quali ordinariamente si sviluppano insieme, e vanno quasi sempre uniti.

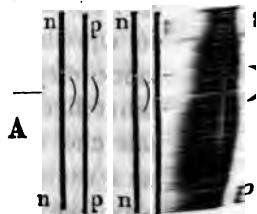
Se tal maniera di spiegazione non si accetta, potrà troncarsi ogni discussione col dire che noi veramente non sappiamo che cosa accada nel vacuo, ma che in esso l'etere libero certamente soffre una modificazione per la pressione dell'altro condensato, la quale pressione si trasmette secondo le leggi del quadrato delle distanze. Essa può assumersi come un fatto concluso dalle relazioni della corrente elettrica colla tensione, e sembra dipendere dalle stesse forze che producono le vibrazioni trasversali della luce.

Ricapitolando il detto fin quì diffusamente, ecco in che consiste la *carica* del corpo elettrizzato. Quando p. es. dall' operazione meccanica di attrito due superficie hanno le loro molecole inegualmente scosse, non può susistere più in equilibrio lo strato etereo intermedio, e sia per vibrazione maggiore che le une concepiscono, sia per la loro mobilità diversa, da una parte si accumula una quantità dell'etere più che dall' altra. Separate le due superficie, il corpo che ne è uscito con eccesso preme per la sua maggior copia e agitazione lo strato contiguo del mezzo isolante onde ottener posto, ma questo per la piccola mobilità delle molecole in senso longitudinale appena può spostarsi di un tantino sforzando lo strato contiguo, e questo incalzando il terzo e via

discorrendo costipandosi successivamente sempre meno, secondo che permette la piccola mobilità delle molecole nel mezzo isolante. Quindi ne nasce una densità di etere decrescente colla distanza.

Veduta qual sia la nozione della tensione, passiamo ora ad esaminare gli effetti prodotti da essa nel mezzo circostante, che si conoscono sotto le denominazioni di induzione, e gli altri delle attrazioni e ripulsioni.

L' induzione non offre gran pena a esser capita dietro l' esposto finora. Quando un corpo è carico di elettrico esso modifica tutto l' ambiente intorno con nuova legge di equilibrio derivante dalla sua forza di pressione e dalle reazioni che si sviluppano nell' interno de' corpi a lui vicini. Dietro l'esposto principio lo strato elettrico avendo una spessezza fisica minima bensì, ma pure apprezzabile, anche senza abbandonare il corpo, per la sua forza diffusiva può agire sullo strato contiguo dell'etere circostante e per esso sul corpo posto a distanza. Gli effetti di tale azione saranno diversi secondo che i corpi sono isolanti o conduttori. Nel primo caso si farà in essi da strato a strato una condensazione di elettrico decrescente colla distanza come si è detto, e se il corpo sarà perfettamente isolante tale spostamento sarà piccolissimo, e appetto al moto di trasporto che in esso avverrà ogni minima soluzione di continuità meccanica misurabile sarà tanto resistente che non potrà essere sorpassata, ma ciò non impedirà una nuova distribuzione nell'interno del sistema. Così accade che messo un corpo carico A a fronte di un sistema di strati isolanti separabili, come p. es. un pacchetto di fogli di mica bene asciutti, ogni foglia ha lo stato suo modificato in modo che nella parte n volta verso l' inducente positivo resta diminuita la dose naturale di etere, e nella lontana p viene accresciuta perchè la pressione del corpo positivo A ha forza di sbila-

A
n p n
n p n

ciare l' etere della faccia contigua *nn* penetrando alquanto colla sua impulsione dentro alla superficie del solido, obbliga la quantità naturale dell'etere a ritirarsi più lontano sulla faccia *pp*. Posto sempre che nulla possa passare dal conduttore alla mica, lo stesso accadrà nel secondo foglio per l'azione del primo, e cosi degli altri. Quindi ne nasce uno squilibrio nei singoli fogli della mica stessa , ma che non apparirà finchè stanno uniti e dura l'induzione. Quando però sia scaricato il conduttore *A* e vengano separati i fogli, allora si trova sussistere per qualche tempo in essi questo stato sbilanciato, attesa la loro debolissima conducibilità interna, e una faccia è positiva l'altra è negativa. Qui non accade azione a distanza, perchè tra il conduttore elettrizzato e gli interstizi de'fogli di mica v'è sempre l' etere dello spazio che serve di intermedio all'azione del corpo inducente. Lo stesso deve succedere in una massa di spessezza finita isolante, ma in questa lo spostamento apparisce solo alla prima e all'ultima superficie.

Questa teoria suppone come base il principio che l' etere condensato su di una superficie possa premere e spostare quello di una superficie contigua senza che vi accada trasporto reale. Questa penetrazione non si deve intendere che si faccia a grande profondità, anzi l' effetto deve farsi in quello strato superficiale esteriore al solido che separa i due mezzi, e in cui come sappiamo, ha luogo uno stato moleculare molto più libero, e una specie di atmosfera tenuissima. Questo sarebbe un movimento simile a quello che si disse accadere per le onde luminose, le quali a suo luogo fu riconosciuto che penetrano alquanto nell'interno del corpo e ne sorgono certi fenomeni. Ma un tale principio può esser confermato direttamente in elettricità coll' esperienza, e pare che possa portarsi per appoggio il fatto seguente osservato dal Dumoncel. Accostando a distanza di 2 in 3 millimetri due lastre di vetro rivestite esteriormente di due lamine metalliche messe in congiunzione coi poli della macchina di

Rhumkorff, si vede nell' oscurità una pioggia di fuoco tra le due superficie nude delle lamine del vetro approssimate, senza che si scarichi scintilla agli orli delle medesime. Di più si distinguono tra le lamine metalliche e quelle del vetro due linee luminose che indicano abbastanza che l' effetto elettrico si estende a tutta la superficie sottoposta, mentre le lamine di vetro sono oscure. Se si esamini la corrente, si trova che essa realmente *non attraversa* punto il sistema, ma con un apparato ingegnoso da Gaugain si è riconosciuto che essa cambia alternativamente verso a partire dalle lamine di questo condensatore (1). Quella pioggia di fuoco adunque è prodotta dal semplice affacciarsi della corrente alla interruzione, e in virtù di essa la pressione accumulata desta quella luce, ma non potendo essa superare la resistenza di quello spazio, ritorna indietro a neutralizzarsi per la spirale del rocchetto. Questo fatto rappresenta in modo sensibile tra distanze finite ciò che deve accadere tra lamina e lamina nei corpi stratificati; onde resta provato che senza passaggio diretto può l'elettrico addensato esercitare una pressione nello strato isolante frapposto.

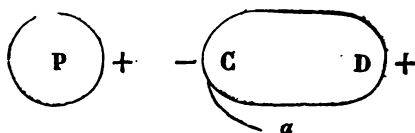
Se il corpo immerso nella sfera d' azione del corpo elettrizzato sia conduttore, avverrà nella massa dell'elettrico totale del corpo ciò che qui avviene in una semplice molecola. Attesochè per la mobilità dell'etere in questi corpi la pressione dello strato isolante confinante colla superficie metallica sposterà il fluido dal lato vicino al corpo positivo, donde sarà cacciato e ridotto alla parte più lontana ove soffre minor pressione. Finchè dura tale influenza non sarà facile rilevare lo stato vero del conduttore, perchè è mascherato da quello dell' etere circostante, ma se si usi qualche indu-

(1) V. Dumoncel *Notice sur la machine d' induction électrique* de M. Rhumkorff. Paris 1859 4.me edition pag. 63.

stria, come è per esempio quella di fare che l' indotto sia composto di due parti che vengono separate sotto l' induzione, e poi si scarichi l' inducente, si troverà la porzione vicina all' inducente positivo essere negativa, la lontana esser positiva. È chiaro che se l' inducente è negativo, il vero corpo inducente positivo è allora il corpo in istato naturale, e le cose si fanno allo stesso modo, ma con segno opposto.

Qui, come si scorge, non si invoca nessuna azione a distanza, ma solo si ammette che l' elettrico condensato alla superficie di un corpo possa agire per pressione sopra l' etere della superficie a contatto dell' altro (sia esso isolante o no) senza transito reale, ma per la mera forza diffusiva di cui è dotato, in modo che l'eccesso della superficie elettrizzata venga ad esser compensato da un difetto nello strato contiguo della materia. Il che non si avrà difficoltà ad ammettere, considerando che questo sbilancio sempre avviene quando almeno una delle superficie a contatto sia isolante, nelle quali non può ammettersi che uno spostamente piccolissimo, ma non mai un vero trasporto. Perchè se avvenga trasporto allora si ha scarica, e i fenomeni sono di altro ordine.

In questi fenomeni di induzione statica nulla vi è adunque che domandi azioni a distanze, nè che esiga le due elettricità, nè la sovrapposizione delle loro opposte tensioni. A noi riesce affatto inconcepibile ciò che è stato detto da alcuni che la tensione positiva sia sempre combinata colla negativa, e se gli si vuol dare un senso bisogna supporre indispensabilmente due fluidi, che non sono affatto provati. Questa elettricità indotta che in questi ultimi anni ha dato luogo a tante discussioni, e che mentre alcuni dicono *tendere*, altri dicono non *tendere*, è un mero squilibrio dell'elettrico naturale, e la negativa non può tendere perchè non esiste. Ad alcuni è sembrata grande difficoltà contro questa dottrina il fatto che la carica di un conduttore sotto l'influenza positiva diviene tutta negativa se si tocchi il capo vi-

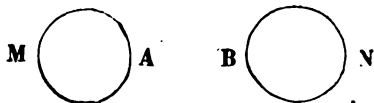
cino all' inducente: quasi che tutta l' elettricità positiva dovesse andare ad affrontare l'altra per iscaricarsi nel suolo. Ma la spiegazione del fatto non è difficile.

Il cilindro CD in faccia alla palla P, p. es., quando è isolato è positivo in D, e negativo in C; quando poi viene messo in comunicazione col suolo col filo *a* esso diviene tutto negativo. Ma allora esso non deve più considerarsi come il corpo di dimensioni finite di prima, ma come un corpo di dimensioni sterminate, di cui fa parte il globo terrestre medesimo con cui è in comunicazione e di cui esso è una estremità. In un tal corpo la parte anteriore sarebbe tutta negativa e il cilindro col filo annesso che non fa che il suo principio, deve divenire tutto negativo. E non vi è punto veruna impossibilità fisica che nell'atto che si stabilisce tale equilibrio la porzione dell 'etere che stava in D passi alla terra camminando per l'estremità C. Questo movimento si fa in un istante, e forse con qualche delicato reometro non sarebbe impossibile riconoscerlo.

Alle sperienze poi di Melloni ed altri che hanno preteso mostrare la mancanza delle tensioni dell'elettricità indotta riparando i pendolini attaccati ai cilindri con scrimagli metallici o in altri modi consimili, qualunque sieno i risultati ottenuti, rispondiamo, che essi con tali mezzi mutano affatto le condizioni de' problemi, perchè que' corpi stessi devono contemplarsi come un nuovo sistema soggetto all'induzione, onde non sono più i casi teorici che essi pretendono di verificare quelli su cui fanno gli sperimenti, ma altri ben differenti. Quindi non fa specie che incontrino risultati diversi e perciò non ci tratteremo a discuterli.

Veniamo finalmente alle attrazioni e ripulsioni, per ispiegare le quali si sono immaginate tante forze. Il principio che serve di base all'attuale spiegazione è, che l'etere quando trovasi troppo abbondante o deficiente in un corpo tende ad equilibrarsi come può, e in tale atto può comunicar la sua forza viva alla materia ponderabile, la quale resterà trasportata se è sufficientemente mobile. La forza determinatrice di questa tendenza, è l' agitazione stessa dell'etere addensato da cui nasce la condizione detta comunemente ripulsiva in cui è posta la materia elettrizzata. Questa condizione secondo alcuni è dovuta a una attenuazione della materia ponderabile superficiale, secondo noi invece ad una carica di etere sovrabbondante. Questo però non esclude il movimento moleculare, perchè è un principio generale, che in questo stato la materia presenta una esaltazione di moto moleculare che dal corpo ponderabile si trasmette al mezzo circostante, sia esso pieno o vuoto. In virtù di tale azione ne nasce la forza diffusiva detta finora che produce l' induzione e a cui sono dovute anche le attrazioni nel modo che passiamo ad esporre.

Abbiam veduto sopra che negli spazi isolanti l'etere non è libero a tutti i movimenti, onde se esso eserciti una pressione maggiore di quel che porti la coesione o il peso del corpo su cui sta condensato, ne nascerà una forza che è valutabile in certa quantità di moto e questa dovendo necessariamente equilibrarsi potrà in tal atto trasportare seco anche il corpo ponderabile a cui è aderente, qualora questo abbia sufficiente mobilità. Considerando pertanto l'azione risultante da questa tendenza alla diffusione che agisce come una vera pressione, si ricava come conseguenza indispensabile, 1.° che due corpi elettropositivi si allontaneranno.

Siano due sfere eguali cariche in eccesso: ciascuna pre-

merà l'etere circostante colla sua forza repulsiva, e nel loro spazio intermedio AB la pressione sarà la somma delle due,

mentre nello spazio circostante M, N è semplice e può diffondersi nel mezzo non condensato. Quindi la legge di equilibrio delle forze porta che le sfere si separino se esse hanno sufficiente mobilità. Infatti per stabilire un equilibrio non vi sarebbe altro che uno de' due modi: o che l' etere dal mezzo AB si ritirasse da sè alle parti posteriori M, N, o che i corpi si allontanassero. Il primo accade effettivamente talora, ma nei corpi stessi quando sono conduttori e ineguali (e come vedremo appresso allora si ha attrazione, ma prescindendo da tal caso, come dobbiamo fare adesso, tal cosa è impossibile nel mezzo circostante che supponiamo isolante, attesa l'incapacità dell'etere a muoversi con traslazione in tali mezzi ; quindi resta la seconda, cioè la separazione materiale de'corpi. A questa separazione contribuirà anche l' azione esterna in M ed N dove l'etere condensato per ridursi ad equilibrio cerca diffondersi all' esterno stesso.

2.° È facile capire che se un corpo sia elettrizzato in più e l'altro in meno, l'equilibrio porta invece che si avvicinino, onde distruggere le due differenze di pressione di segno opposto che è non solo tra di loro, ma anche in tutto lo spazio circostante, perchè l'azione in eccesso di M si estende oltre N e viceversa, onde l' equilibrio porta una riunione de' due corpi nello stesso luogo quanto è possibile.

3.° Quando i due corpi sono entrambi negativi, devono considerarsi le azioni nello spazio tra di essi e fuori. Fra di essi in AB per la loro condizione negativa l' elettrico

si trova trasportato alle superficie stesse negative, onde nel mezzo resta una vera rarefazione: ma questa non può agire come fa nei fluidi ordinarii per via di aspirazione, perchè il mezzo essendo isolante, l'etere non può affluire a distanza, e nemmeno per via di comunicazione, perchè questo spazio interno essendo deficiente è incapace di somministrare la dose necessaria a ristabilire l'equilibrio nei due corpi. All'incontro dai lati esterni M N abbiamo le condizioni del 2.° caso le quali agiscono tendendo a separare i due corpi deficienti, perchè i corpi collocati esteriormente, o lo spazio stesso nel suo stato naturale fanno le veci di un corpo positivo verso un negativo. Quindi avrà luogo un allontanamento anche tra due corpi negativi, senza che occorra perciò ammettere una vera forza repulsiva nella materia. Le attrazioni e ripulsioni elettriche si spiegano dunque col semplice principio che il moto relativo della materia pesante si fà in modo tale che si ristabiliscano le pressioni all'eguaglianza; nel qual caso il negativo si accosterrà al positivo se esso è più mobile, ma accadrà anche viceversa nel caso contrario. Vi sarebbe finalmente il 4.° caso de'corpi in istato naturale in faccia agli elettrizzati, ma questo si rifonde in uno de' precedenti, perchè è già dimostrato come conseguenza della teoria dell' induzione, che ogni corpo prima di essere attratto è già elettrizzato per l' induzione stessa in verso opposto, anzi talora l' induzione può rendere di segno opposto due corpi positivi alle vicinanze del contatto.

Le attrazioni e ripulsioni si esercitano pure nel vuoto, ma noi non sappiamo con che differenza di intensità ciò abbia luogo, e fino a che limite il vuoto stesso sia coibente e possa impedire la scarica. Pare che in genere i fenomeni di induzione, o di altra azione qualunque, si esercitino con tanto maggiore facilità quanto è minore la resistenza del mezzo, e i corpi gassosi che naturalmente sono isolanti, divengono conduttori quando sono rarefatti. Ma molto ancora resta a studiare su questi fenomeni, e dai risultati di

queste esperienze le idee teoriche potranno anche ricevere importanti schiarimenti.

Dal detto finora consegue che i fenomeni presentati dai corpi negativi non devono per ciò che spetta le attrazioni differire da quelli che mostrano i positivi, ma non per questo tutti gli altri fenomeni de'due stati saranno identici, e dovrà esser diversa la modificazione del mezzo secondo che l'elettrico esce o entra, a quella guisa che la forma del getto è diversa da quella del gorgo. L' esperienza ha già da gran tempo mostrato tale diversità nella forma della scarica luminosa di pennacchio e di stelletta, e molto meglio ora si vedono tali differenze nei tubi contenenti gas rarefatti.

Andrebbe però errato chi dall' aspetto delle luci volesse argomentare quello anche del calorico; perchè quelle consistendo in un'agitazione violenta di poche particelle, e questo nel tremito generale della massa, i due fenomeni non sono dello stesso ordine, benchè siano gli stessi i due prodotti mV^2 e Mv^2. Inoltre se a un capo si disgrega la massa, e all'altro si raccoglie, si avrà diversa temperatura. Così può spiegarsi come il polo negativo in certi esperimenti sia il più caldo, benchè non sia il più luminoso, nè quello da cui parte il getto della scarica.

Quando la densità dell' etere e con essa l' agitazione moleculare della materia mista ad esso è cresciuta a certo punto che supera i limiti di coesione che ritengono in posto sui corpi le particelle della superficie, allora queste si staccano e la carica si equilibra portando via le molecole stesse ponderabili e facendole vibrare violentemente, e mettendole così in incandescenza luminosa. Questa scarica è provocata manifestamente dalla tensione dell'etere, ma agevolata grandemente dalla materia pesante che si trasporta con esso per costituire l' equilibrio. Così la scarica detta *disruptiva* non differisce realmente dal trasporto di una pallina di sambuco verso un conduttore elettrizzato, se non in quanto essa esige forza maggiore per staccare le particelle dal corpo a

cui sono coerenti, mentre che nella pallina vi è solo da vincere la gravità. Abbiamo veduto come sia difficile ammettere che un tale atto possa aver luogo senza la materia imponderabile, e qui si vede con quale facilità tutto si spiega col suo intervento. Ma questa ipotesi diventa per noi tesi ove si consideri in relazione con tutto il resto delle azioni fisiche a noi conosciute.

In queste scariche si ha un vero lavoro fatto dalla forza viva dell'elettrico accumulato nei corpi posti a fronte. I lavori possono esser diversi, e ora spostare semplicemente le molecole di un isolante disgregandole o separandole per ristabilire l'equilibrio, ora generare il riscaldamento e la volatilizzazione nei fili, ora produrre le decomposizioni chimiche, o le induzioni magnetiche. Nelle grandi scariche (specialmente nei fulmini) tutti questi lavori sono simultanei, e quindi si vede la difficoltà di valutarne le quantità. Ma se ciò è difficile in generale, può però farsi in alcuni casi più semplici. Questo è stato quello che ci ha dimostrato Riess coi suoi esperimenti, dai quali consta che la scarica di una batteria costante produce molto più di calore in un apposito termoscopio se sulla sua strada non incontra che uno strato d'aria da saltare, di quello che se incontri un isolante, come una foglia di vetro o di mica. Nel primo caso p. es. si avevano 15,° 9 nel secondo soli 6°, 8 (1). Il lavoro meccanico della perforazione in questo secondo caso era maggiore del primo, quindi altrettanto sottraevasi dal lavoro fatto nell'interno del filo che era espresso pel riscaldamento.

In queste scariche grandi quantità di materia sono talora volatilizzate e trasportate, e questi trasporti possono considerarsi accadere come le ceneri e i carboni sono trasportati

(1) *Archives des sciences nat.* 1858 tom: 2 pag. 296. Chi desidera ulteriori particolarità legga la memoria di Clausius Poggendoff Ann. tom. 86 pag. 337 e tom. 87 pag. 415.

da una corrente d'aria nel camino. Questi movimenti però si fanno sempre per oscillazione come lo mostrano non solo le scintille esaminate da Feddersen (v. sopra) ma anche i belli studi fatti da De la Rive nei mezzi rarefatti e l'azione sui fili sottili, nelle cui tracce di fusione e volatilizzazione si hanno tutte le apparenze di ondate successive.

Non bisogna pertanto confondere il moto della materia ponderabile che si osserva in tali scariche, colla causa che lo produce. Questa generalmente è la forza viva dell'etere accumulato o eccitato alla superficie de'corpi per azioni meccaniche o altre consimili, la quale nell' atto dell' equilibrarsi fra gli altri lavori fa quello di staccare e trasportare le molecole de' corpi che incontra o quelle su sui è condensata. Questa pressione come ogni altra nasce da un movimento impedito in cui le molecole agitate cercano di evadere dal ricinto ove sono ritenute e compresse, talchè chi dice pressione, già dice non un moto meramente virtuale ma reale e che solo non si compie in spazii estesi, ma in spazi ristretti e angustiati. Veggasi il detto a proposito del calorico.

Parrà forse a taluno che noi riconduciamo la scienza alla sua infanzia coll'introdurre queste pressioni escluse dai geometri che si sono occupati di questa materia. Ma a ciò rispondiamo che il concetto delle pressioni è una mera conseguenza di quello delle correnti, e perciò l' uno non può negarsi o ammettersi senza l'altro. Di più il concetto di pressione usato dagli antichi non era dimostrato così dipendente della natura de' corpi come si riconosce attualmente. Comunemente si comparava questa pressione a quella che ha luogo egualmente nei fluidi per tutti i versi, noi abbiamo stabilito invece, che questa pressione quantunque *tenda* a diffondersi per tutti i versi, pure essa non riesce eguale in tutti per l' incapacità dell' etere a muoversi di moto traslatorio finito ed esteso entro gli isolanti, incapacità che proviene da quelle stesse forze svelate dall' ottica che reggono

l' equilibrio interno dei corpi diafani; della quale connessione nulla si trova tra quegli antichi autori. Ma del resto se anche avessimo da risuscitare una teoria abbandonata, quando essa fosse conforme alla natura, ciò non riuscirebbe che a dovérsi corregger quelli che l' abbandonarono per seguire le vane ombre delle forze molteplici, veri lavori della immaginazione.

Si avverta però che questo biasimo non ricade realmente sopra i geometri, perchè essi hanno semplicemente assunto per base de'loro calcoli il fatto che due corpi infinitamente piccoli (ossia due elementi differenziali) *carichi di quella forza che li rende elettrici omologamente si respingono e due eteronimamente elettrici si attraggono*: su questa base il calcolo tira conseguenze, ma il primo fatto non viene da esso spiegato, e le conclusioni hanno la forza delle permesse, quando la deduzione è legittima come nel caso nostro. Quelli poi che hanno voluto andare più innanzi e fissare la natura delle forze, hanno dovuto ammetterne una quantità non piccola, come vedemmo. Ma sempre resta la gran domanda *che cosa sono queste forze*, quale idea fisica formarcene? Onde se si possono risparmiare è molto meglio, e ci pare che l'ipotesi semplice dell'etere che sia costitutivo de'corpi nel modo da noi più volte esposto dispensi da tante supposizioni.

Che se qualcuno arriverà a dimostrare che l'etere in tutti questi fenomeni è assolutamente inutile, e che tutto può venire dalla mera materia ponderabile, purchè sappia conciliare con queste le altre parti della fisica, noi gli sapremo benissimo grado; essendo il nostro desiderio quello di poter conoscere la verità delle cose, e non di sostenere una opinione o teoria qualsiasi, fosse pure parto esclusivo del nostro intelletto. Tanto più poi la presente, che non è che una mera esposizione di ciò che è stato più o meno sentito da que' fisici che oltre la parte sperimentale si sono anche occupati della filosofia naturale. Il risultato di tale

dimostrazione, quando vi si arrivi, non sarà che il coronamento di quello che noi cerchiamo, cioè sarà l'esclusione delle forze astratte, e degli agenti che sono dell'ordine delle cause occulte.

Non possiamo levare la penna da questa materia senza dire una parola di una gran sorgente di elettricità statica che noi non abbiamo ancora esaminato, dico l'elettricità atmosferica. Questa è stata soggetto di molte ricerche, ma di poche conclusioni sicure. L'atmosfera a ciel sereno è sempre carica di elettricità positiva e solo per le burrasche o vicine o lontane mostra la negativa, che è effetto evidente dell' induzione di masse positive. Donde viene questa elettricità? Alcuni l' hanno creduta effetto dello spazio elettrizzato positivamente, o della terra negativamente. I più hanno detto essere effetto della evaporazione, ma questa è stata combattuta grandemente, tuttavia non può negarsi che ciò sia vero in molti casi. Il vapore nel rarefarsi sottrarebbe ai corpi terrestri elettricità, come sottrae il calore detto latente, e nulla vi sarebbe di più semplice per capire i fatti che l'ipotesi che tutto sia moto meccanico dell'etere congiunto alla sua condensazione. Questa elettricità non si renderebbe sensibile finchè il vapore sta nello istato elastico stesso con cui si elevò, ma condensandosi lo svilupperebbe insieme col calorico, e si spiegherebbe la carica elettrica che ha luogo nell'atto della condensazione col medesimo principio con cui si spiega il crescere della tensione al diminuire la superficie libera di un corpo, e il mostrarsi del calorico latente all'atto della condensazione.

Questa teoria è appoggiata dal fatto costante che l'elettricità dell' atmosfera è per lo più in ragione delle fasi che subisce il vapore, non solo nelle condensazioni precipitose che accompagnano le meteore più violenti quali sono i temporali, e le grandini, ma anche nei movimenti più placidi che succedono ogni giorno. Così essa trovasi grande alla sera al primo condensarsi della guazza, e diviene più co-

piosa al cadere di questa in abbondanza. Le tensioni sono enormi nell' estate quando la condensazione accade in mezzo a masse isolanti, donde i tanti temporali; ma nell' inverno invece la condensazione facendosi in mezzo a masse umide, che scaricano la tensione a mano a mano che si produce, non se ne osserva che poca, anche ad occasione di piogge o burrasche.

Tale teoria semplicissima non piace a molti e seguitano a guardare il problema dell'elettricità atmosferica come non risoluto, perchè all' evaporazione si nega da essi la facoltà di produrre elettricità. Se l' evaporazione come tale, sia realmente la causa dell'elettricità, può in questo caso lasciarsi da parte, perchè potrebbe esser dovuta alle azioni chimiche concomitanti, ma in sè pare difficile ammettere che un tanto cambiamento di stato quale è quello da liquido ad aereo non induca nessuno squilibrio nell' etere. Le sperienze in contrario fatte coi crogiuoli di platino roventi poco o nulla concludono, perchè stando in questi il liquido a stato sferoidale, e il vapore che lo separa da esso essendo in stato secco, può benissimo restar impedita la comunicazione dell' elettrico dal liquido al vaso.

Ma ormai pare che la cosa possa almeno indirettamente mettersi fuor di controversia dalla teoria stessa. Infatti, prescindendo da ciò che accade al momento della evaporazione, perchè all'atto della condensazione stessa non potrebbe una porzione della forza viva calorifica trasformarsi nel moto dell'etere interno, ed accumularsi questo alla superficie in diversa dose attorno le molecole del vapore e le gocciole del liquido? Certamente per formare una minima gocciola di liquido, quali sono quelle del polviglio d'acqua che forma le nubi e le nebbie, si esige un immenso numero di molecole di vapore, le quali devono avere ben diversamente disposto l' etere nei due stati, quindi non si vede affatto assurdità che perciò la molecola di acqua acquisti uno stato di etere in eccesso, relativamente a quello che avea prima,

tanto più se si ammetta che nell' interno de' corpi l' etere trovasi più rarefatto.

Anche se vogliamo escludere l'etere, noi possiamo considerare come possibile che la forza viva della materia ponderabile che costituisce il calorico si trasformi nella forza viva di espansione ed attenuazione che costituisce l'elettrico. La trasformazione dell' elettrico in calorico e viceversa non è più un' assurdità dal momento che questi agenti non sono più fluidi, ma meri modi di movimento a qualunque specie di materia essi appartengano, sia ponderabile o no. Con ragione quindi crediamo di aver detto altrove che la questione dell' elettricità atmosferica mediante le moderne dottrine poteva meglio intendersi e che non era irragionevole ammettere una conversione del calorico in elettrico. Questo è uno di que' casi in cui l' incertezza che restar può nella parte sperimentale non pregiudica punto alla teoria.

Ommettiamo di esporre qui i fenomeni delle scariche atmosferiche, perchè non sono che quelli delle nostre macchine, ma in proporzione colossale, e perchè abbiamo già indicato precedentemeute che i trasporti da esse operati non dispensano dall' ammettere una sostanza sottile che ne sia la causa.

§. 11.

Delle attrazioni e ripulsioni elettrodinamiche e delle azioni magnetiche. Magnetismo terrestre.

Il magnetismo è stato in tutti i tempi soggetto della più grande curiosità, e pareva formare uno de' secreti più astrusi dalla natura, la quale in esso ci mostrava una forza che non avea alcuna analogia colle altre conosciute. Al sorgere del genio sperimentale nella scienza che sbandì le speculazioni teoriche delle scuole, il magnetismo fu uno de' soggetti che più interessò i fisici, ma se riuscirono ad

estendere il dominio e a conoscere le leggi del suo modo di azione, la sua natura restò tuttavia un mistero. Fin dai primi tempi fu collegato all' elettricità più per un certo estrinseco rapporto de' fenomeni che per una identità di natura che vi fosse riconosciuta. Era riservato al secolo presente lo svelare una nuova azione dell'elettrico, donde appariva realmente la connessione de' due agenti, dopo la quale scoperta il ridurli allo stesso principio non era più lavoro di ipotesi, ma conseguenza di calcolo. Così le azioni magnetiche sono diventate un caso particolare delle azioni elettrodinamiche, e per ciò noi riuniamo insieme queste due classi di fenomeni, perchè realmente essi sono riuniti in natura e derivanti dallo stesso principio.

Ciò che colpisce a prima vista nei fenomeni magnetici è l'esclusività di questa forza propria di poche sostanze, anzi può dirsi principalmente di una sola, il ferro. Le scoperte elettrodinamiche di Ampère tolsero questa barriera e fecero vedere che colle sostanze più indifferenti si poteva creare una calamita, purchè si producesse attorno alla massa una conveniente circolazione di elettrico.

Un'altra cosa che non è meno importante, è la facoltà che ha questa forza di trasmettere l'azione attraverso tutte le sostanze indistintamente, il che non ha luogo per l'elettricità statica, nè per le radiazioni e in ciò è solo paragonabile alla gravità. I soli corpi che offrono una qualche resistenza alla forza magnetica sono quelli che sono capaci essi stessi del magnetismo, ovvero i corpi conduttori all'atto che pel movimento si destano in essi le correnti di induzione. Però vedremo che la trasmissibilità magnetica non è rigorosamente simile a quella della gravità, e che questa forza incontra delle resistenze che la distinguono dall'altra, onde l'analogia non è completa.

La terza particolarità che caratterizza le azioni magnetiche e le forze elettrodinamiche, è la polarità, *ossia la facoltà di esercitare azioni eguali ed opposte ai due*

capi di una linea. Molti sono i fenomeni che in fisica godono di questo titolo di polarità, ma non in tutti la modificazione indicata collo stesso nome è la stessa: così la polarizzazione della luce non è costituita che *da una direzione identica* che hanno le vibrazioni. In chimica alcuni spiegano colla polarità ciò che si osserva nelle decomposizioni voltaiche nelle quali l' idrogeno di tutte le molecole si troverebbe elettrizzato in più, l'ossigene in meno nelle successive decomposizioni che accadono nel liquido per dar passaggio alla corrente. Il che se s' intenda nel modo proposto dal Bizio (pag. 340) non sarebbe che una orientazione materiale dei centri di gravità prodotta dall' azione della corrente, e anche questo sarebbe un fatto ben diverso dalla polarità magnetica. V'è infine la polarità elettrostatica propria de'corpi elettrizzati, come i cristalli termelettrici: ma qui vi è pure la differenza che la carica risiede alla superficie, mentre nelle calamite è nell' interno di ciascuna molecola. Ciò si prova dal fatto che i cristalli si scaricano pel contatto di un mezzo conduttore, ma la calamita non perde la sua forza. In ambedue però i fenomeni sono moleculari, e i frammenti di una calamita conservano i poli nella direzione della massa primitiva, talchè anche rompendo l'estremità di una verga rettangolare calamitata in modo da levarne un piccolo rettangolo la cui minore dimensione corrisponda alla lunghezza della sbarra, la porzione staccata ritiene i poli diffusi nella direzione della minor dimensione, benchè poscia col tempo li perda. L'estensione del termine di polarità ai conduttori della macchina elettrica fatta da alcuni è un abuso di parole.

Il Grove rassomiglia la polarità magnetica alla direzione che pigliano molte banderuole immerse in una corrente di vento che tutte divengono parallele, e possono restarvi ferme o ritornare al posto di prima dopo cessato il vento secondo che sono equilibrate o no. Ma questa simi-

litudine, che molto non differisce dalla nozione della polarità data dal Bizio, non spiega punto l'azione che queste banderuole eserciterebbero sulle vicine per disporle parallelamente a loro stesse, a meno che non si ammettesse un centro d'azione operante a distanza che in ciascuna delle loro estremità fosse di segno opposto. E tale è effettivamente l' idea antica che ammetteva un fluido australe e un boreale in ciascuna molecola. Dopo la scoperta di Oersted abbiamo veduto che si attribuì ai conduttori una polarità trasversale, ma l'analisi di Ampère e i fenomeni delle rotazioni magnetiche mostrarono l'insussistenza di tale teoria.

« L' impossibilità, dice Ampére, di imitare con semplici » calamite in qualunque modo siano esse disposte i moti con- » tinui sempre nel medesimo senso che offrono soltanto i cir- » cuiti voltiani non chiusi, sia sotto l'influenza di un circuito » chiuso, sia sotto l'azione di una calamita o del globo ter- » restre, moto che non si può produrre coi circuiti chiusi, i » soli comparabili alle calamite, questa impossibilità prova che » quantunque si possano spiegare i fenomeni delle calamite con » correnti trasversali, non si possono però spiegare quelli che » presentano i conduttori ammettendovi una calamitazione tras- » versale, onde quell'ipotesi de'fisici non può ammettersi (1). A questo argomento di Ampére già toccato da noi altra volta non sappiamo che siasi fatta risposta, onde ne segue che non devono le correnti ridursi a forze polari, ma le forze polari a correnti, e che l' ipotesi più plausibile è quella di supporre che i gruppi moleculari delle calamite siano animati da un movimento di rotazione, al quale partecipa l' etere che le inviluppa.

Una prima ricerca che fece Ampére fu per sapere se queste correnti moleculari delle calamite fossero create di tutto punto nei materiali magnetici (2), ovvero se erano sem-

(1) Ampére *Recueil d' obs. éléctrod.* pag. 253.

(2) Id. ib. pag. 181.

plicemente una orientazione de' movimenti naturali esistenti in ciascun corpo. Diverse ragioni fecero preferire quest'ultima sentenza, e tra queste fu il vedere che la temperatura non varia in un pezzo di ferro per eccitarsi in esso la polarità, donde seguiva che le correnti magnetiche non da altro doveano esser formate che dalle circolazioni interne che in tutti i corpi accompagnano il calorico. Però devono distinguersi qui i gruppi molecolari dalle semplici molecole, perchè il vero magnetismo polare è proprio delle sostanze sòlide, e benchè un magnetismo siasi scoperto in alcuni liquidi e in alcuni gas, la polarità permanente però in questi non è dimostrata, e sembra piuttosto dipendere da una proprietà opposta al diamagnetismo di cui parleremo fra poco. Il certo è che i corpi magnetici per eccellenza perdono questa proprietà colla fusione, come nel ferro ha provato Matteucci, onde si crede che essa dipenda piuttosto dall'aggregato delle molecole costituenti il solido.

Essendo adunque per mezzo dell'ipotesi Ampériana ridotti i fenomeni delle calamite a quelli delle correnti, resta ad esporre come si spieghino le azioni reciproche di queste e sarà così spiegata anche l'azione del magnetismo. Ora la spiegazione de'fenomeni elettrodinamici si riduce a dare ragione fisica della formola stabilita da Ampére per rappresentarli, perchè quella formola racchiudendo in germe tutti i casi immaginabili, trovata che sia la ragione di essa, sono spiegati tutti i fenomeni. E questo è appunto uno de'grandi vantaggi del calcolo che riducendo tutti i fatti complessi ad alcuni più semplici ed elementari, spiegati quelli non è più mestieri occuparsi degli altri che ne derivano come corollario.

Ora questa formola suppone due forze esistenti nei circuiti elettrodinamici: cioè 1.ª una azione operante a distanza in senso attrattivo o ripulsivo secondo il verso in cui camminano le correnti; 2.ª Una tendenza di questi movimenti a dare una risultante unica che si determina colle leggi della composizione delle forze statiche ordinarie.

Non pare difficile il dar ragione di questi due elementi dietro la considerazione de' movimenti che possono aver luogo in un fluido, benchè Ampère cercando di rendere i principii del calcolo indipendenti da idee teoriche, preferisse di prenderli come fatti sperimentali (1). Osservo primieramente che anche nei fluidi comuni sono ovvii ad aversi dei movimenti di allontanamento e ravvicinamento e di orientazione, che potrebbero passare per vere attrazioni e ripulsioni se il mezzo in cui accadono si sottraesse ai nostri sensi. Così vediamo ogni dì due vene fluide che vanno ad urtarsi oppostamente deviare la direzione loro secondo la risultante delle due forze; così un soffio violento devia un getto d' acqua per portarlo nella propria direzione, e viceversa un getto d' acqua strascina seco per rigurgito la massa d' aria che lo circonda: un soffio diretto parallelamente e vicino a una fiamma fa correr questa verso il getto e sembra attrarla, e parrà respingerla se il soffio vada in verso opposto al corso ascendente dall' aria calda (2). Abbiamo altrove indicato le aspirazioni fatte dai liquidi in moto, e singolare è il caso di una lastra circolare attratta contro la parete da cui esce un getto d'aria quando l'orifizio è fatto in lamina piana. Donde possiamo concludere, che non può *dirsi impossibile che le attrazioni e repulsioni elettrodinamiche derivino da mere azioni meccaniche di un fluido.* Noi a rigore potremmo contentarci di questa possibilità aspettando che ulteriori studi teorici sui fluidi e la scoperta di nuovi fatti sperimentali gettasse luce su questa materia: tuttavia non sarà malfatto sviluppare un poco meglio quello che abbiamo accennato in genere.

La principale difficoltà consiste nel capire come tale azione di correnti che facilmente si intende al contatto possa esercitarsi a distanza. Quindi è da definire qual sia la modifi-

(1) Ampère *Recueil* ecc. pag. 215.

(2) Ciò si vede bene nelle colonne fuliginose di una fiamma a essenza di trementina.

cazione che ha luogo nell' etere intermedio che trasmette l'azione da uno all'altro punto, che è una di quelle lacune che si saltano comunemente con ammettere un' azione *in distanza*.

I fenomeni dell' induzione dinamica ci hanno dimostrato che durante la persistenza della corrente in un conduttore l'etere circostante è profondamente modificato nelle sue vicinanze (1). Tal modificazione che è sempre leggiera usando le correnti per potenti che esse siano, può molto meglio riconoscersi invocando l' aiuto di energiche calamite prodotte dalla corrente stessa colla sua azione sul ferro dolce. In tal circostanza l' effetto è assai rinforzato e siccome non differisce realmente da quello delle semplici correnti, così può servire a studiarlo. Dei molti fatti che potrebbero allegarsi a prova, basterà ricordare l'enorme resistenza che si incontra a girare un disco di rame tra i poli di queste calamite, gli scoppi fortissimi che dà la scintilla elettrica tratta da uno di questi poli, l' azione che arresta un cubo di rame girante ad onta della torsione, che sono tutti fatti che mostrano che ivi è una forza, ossia una profonda modificazione del mezzo. Maggior luce a riconoscere la permanenza di questa forza deriva dalla scoperta insigne di Faraday della deviazione del piano di polarizzazione di un raggio trasmesso per le sostanze diafane che sono poste tra i poli delle calamite, il qual piano gira nel senso delle correnti amperiane che concepirebbe quel corpo diafano se fosse realmente un pezzo di ferro collocato tra i poli, e in questo anche le semplici spirali percorse dalla corrente fanno gli stessi effetti.

Le particolarità di questo fenomeno sono da studiarsi altrove, qui solo ne inferiremo che l' etere nei mezzi circostanti alla calamita è profondamente modificato, e che il

(1) V. le idee esposte da Ampére su questo punto nel *Recueil* ecc. pag. 214. e Felici *Memoria sull' induzione* Ann. delle Univ. Toscana vol. 3 pag. 9.

moto orbitale che si immagina da Ampére nelle calamite è reso grandemente probabile da queste esperienze. Finora la deviazione del piano di polarizzazione non si è potuta avere che nei mezzi ponderabili, il che non illumina punto sulla modificazione che può aver luogo nel vacuo, dove potrebbe esser diversa, ma l'analogia del vacuo e de' diafani, ci fa credere che questi movimenti esistono anche nel vuoto. I moti orbitali che ci rivela la luce nelle sostanze isolanti sono dello stesso genere di quelli che da gran tempo erano conosciuti nei conduttori sotto l'azione delle correnti e delle calamite, come le rotazioni del mercurio e de' liquidi sparsi alla sua superficie.

Due ipotesi pertanto possono farsi sullo stàto dell'etere nello spazio, o nel mezzo che circonda una calamita o una corrente. Il primo è che si formi attorno al filo parallelamente ad esso, o attorno alla calamita, un vero corso di etere libero, a un dipresso come vediamo in un fiume che trascina seco lateralmente un rigurgito di dimensioni finite; ovvero che si faccia una circolazione per orbite infinitamente piccole e quanto unicamente permettono gli impedimenti al moto che trova l'etere nei corpi. In questo caso la comunicazione del moto accadrebbe a un dipresso come si fa da una corrente d'aria che spinta normalmente avanti alla bocca di un tubo produce una risonanza, per cui le molecole girano in curve chiuse di tanta ampiezza quanta è l'oscillazione della molecola stessa dentro l'onda, che è sempre piccolissima rispetto alla sua lunghezza. È naturale che ambedue i generi di moto abbiano luogo secondo la natura dei corpi, e il primo valga per i conduttori, il secondo per gl'isolanti e per il vacuo.

Questa distinzione delle due specie di mezzi limita assai gli aspetti sotto cui può paragonarsi il moto dell'etere nei fili a quello dei fluidi nei tubi, perchè bisognerebbe imaginare che il tubo fosse fatto di tal materia che permettesse al movimento un' azione attraverso le sue pareti

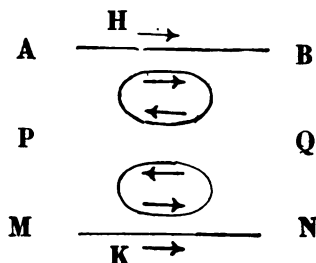
dietro l' analogia che abbiamo rilevato dai fenomeni statici nell' articolo precedente. Oltre questo movimento orbitale che nasce nel mezzo, si deve anche considerare la diminuzione di pressione che si produce intorno al filo per la velocità della corrente, secondo che si disse parlando delle induzioni. Onde per ispiegare le azioni elettrodinamiche è mestieri combinare le azioni rotatorie con questa seconda forza che era sfuggita ad Ampére.

Nell' applicazione del primo principio il punto fondamentale da tenersi presente è questo. Ciò che noi diciamo corrente, realmente non è altro che una successione di molecole che camminano a guisa di tanti proiettili, aventi una commune velocità, onde in realtà deve applicarsi la composizione delle forze di proiezione ai singoli elementi e non ad un complesso ideale che denominiamo con quel termine. Questa semplicissima riflessione ci fa vedere che le risultanti di questi movimenti devono dipendere dai puri principii della composizione delle forze statiche e necessariamente condurre alla legge fondamentale trovata da Ampére che gli elementi infinitamente piccoli di corrente (che sarebbero in fondo queste molecole) agiscono gli uni sugli altri secondo la regola della composizione delle forze. Da questa legge risulterà necessariamente la composizione delle correnti ad angolo e il tendere esse al parallelismo.

L' altro principio poi, cioè che in una corrente animata da grande velocità la pressione laterale non è più la stessa in tutti i versi, darà luogo a dei moti in distanza e al moto vorticoso nel mezzo circostante. Questo nasce appunto dalla coppia che forma su di ciascuna molecola il filone centrale più veloce ralativamente al contiguo meno celere, in virtù della quale esse prendono una rotazione, e sono strascinate nel mezzo ove regna la massima velocità e cessa di esistere la coppia stessa. Abbiamo di ciò un esempio ovvio nelle correnti d'acqua nelle quali tutte le materie galleggianti e

aventi minor densità dell'acqua sono portate al mezzo del filone, colà ove la velocità è maggiore e la pressione minore.

Il caso da esaminare è solo l' azione delle correnti separate da un mezzo isolante, perchè nel caso del conduttore comunicante per via metallica esse si confondono in una.

Ciò premesso si concepiscano due conduttori *AB*, *MN*

animati da due correnti parallele e dirette nello stesso verso: all' intorno di essi avrà luogo una doppia azione ben distinta.

1.° Una diminuzione di pressione che porterà l' etere circostante ad accostarsi ai conduttori, e siccome nei fluidi il filone centrale è sempre più veloce questa aspirazione comincerà nel conduttore stesso e si propaggerà successivamente nel mezzo circostante. L' azione si eserciterà tanto alla regione esteriore *H*, *K*, quanto all' interno *P*, *Q*, ma qui sommandosi le forze mentre le esterne operano a maggior distanza, l'aspirazione interna sarà prevalente, e i conduttori saranno spinti uno contro l'altro.

2.° Questo mezzo interposto essendo isolante, non potranno aver luogo in esso che dei giri orbitali infinitesimi, la cui azione però da strato a strato ripetuta la stessa dà luogo ad uno stato perfettamente analogo a quello che Ampére immaginò nelle calamite, onde la risultante finale di tali movimenti è quale sarebbe quella di due movimenti finiti incontratisi nel mezzo, i quali essendo ancor essi paralleli e

ospiranti lasceranno luogo ad un avvicinamento, ossia al-
l'attrazione dovuta alla aspirazione delle due correnti.

Se adesso immaginiamo i due fili percorsi dalla corrente in direzione opposta, è manifesto che le correnti elementari che nascono nel mezzo interposto agiranno in senso opposto e si urteranno reciprocamente donde verrà distrutto nel mezzo *P Q* ogni movimento se sono uguali, e quindi nemmeno potrà aver luogo l' aspirazione. Resteranno pertanto da considerare gli urti reciproci delle girazioni opposte, e le aspirazioni esteriori in *H* e *K*. Da queste due forze ne nascerà evidentemente un allontanamento, e si avrà la ripulsione, che sarà eguale alla attrazione del caso precedente. In quanto poi agli altri movimenti giratorii il caso è ridotto a delle rotazioni che vengono a conflitto, le quali per la legge statica della composizione delle forze devono mettersi parallele: quindi se il filo abbia una sufficiente mobilità, girerà sopra sè stesso e si metterà parallelo all'altro. Così adunque la composizione di questi moti può ridursi al caso delle rotazioni ordinarie che dipendono in ultima analisi dalla composizione statica delle forze di proiezione che in vario senso sono applicate ai punti di ciascun corpo rotante.

È adunque abbastanza manifesto che il principio fondamentale usato da Ampére nelle sue formole in cui si parte dalla composizione di forze statiche per spiegare tutte le azioni, può derivare dal moto meccanico de' fluidi combinato colle azioni laterali, e come queste azioni decrescono a misura che la massa aumenta, e questa sempre per le azioni che s'immaginano provenienti da un centro unico cresce come il quadrato delle distanze, così queste azioni considerate elementarmente non devono scostarsi dalla gran le-
ge generale della natura.

La forza con cui operano due conduttori finiti qual-
que, o due conduttori a spirale detti solenoidi, o due c
mite essendo mere conseguenze di questo principio s

posa la formola fondamentale, restano con ciò stesso dimostrate esser mere conseguenze del moto meccanico dell'etere. Il coefficiente assoluto di questa forza è stato determinato da Cazin il quale trova che l'azione di una corrente capace di decomporre un equivalente di acqua in un secondo, ossia 9 milligrammi, è tale che concentrata in un conduttore lineare di un metro, a distanza pure di un metro è eguale a 188 milligrammi (1).

Questo basterebbe adunque a spiegare le mutue azioni delle calamite, ma la forza magnetica essendo di una grande importanza in natura, dobbiamo fare alcune riflessioni più in particolare sul suo modo di agire e sulle circostanze che l'accompagnano.

La terra come è noto è una vera grande calamita di una potenza enorme, che Gauss calcolò pari a 8464 trilioni di sbarre di acciaio ciascuna del peso di una libra calamitata a saturazione (2). Stante l'azione di questo immenso magnete sull'etere, il globo terrestre è adunque circondato da un vero vortice del genere indicato, che l'accompagna nello spazio, sia che si trasporti con esso porzione dell'etere circostante in cui è formato, sia che venga formandosi là dove esso si trasporta. La forza magnetica del vortice terrestre è così energica che le nostre calamite artificiali se sono superiori nelle piccole distanze, presto riescono incapaci di eguagliarla. Essa penetra anche gl'inviluppi di ferro come vediamo nei bastimenti fatti con questo metallo, e quelle enormi masse riescono appena capaci di deviare la risultante terrestre di pochi gradi. Nobili paragonava i vortici delle calamite ordinarie ai nodi di un legno che appena deviano dalla direzione loro le fibre in un piccolo

(1) V. Moigno *Mondes sc. pure* 1863. pag. 367.
(2) Gauss *General theory of terr. magn.* n.° 31.

spazio intorno. Ciò però è mera conseguenza della enorme proporzione delle masse relative dotate di magnetismo.

Prima della scoperta di Ampére fu sempre un problema tanta forza magnetica in un corpo i cui materiali veramenti magnetici visibili sono minimi in proporzione del bisogno, onde si ricorreva a magneti interni, ma questa ipotesi inconciliabile colla elevata temperatura interna del globo si trovò anche insufficiente a spiegare le leggi della distribuzione del magnetismo alla sua superficie. Ma dopo Ampère si capisce facilmente come anche in un corpo non magnetico, esister possa tale azione indipendentemente dai materiali ferruginosi, potendo esser dovuta a una circolazione dell' etere, qualunque del resto ne sia la cagione. Ma il magnetismo o intensità di questa circolazione che circonda la terra non è il massimo che possa esistere nello spazio, quindi è ragionevole ammettere che questo vortice magnetico non è formato che da una minima parte dell'etere stesso in cui nuota la terra, e noi nemmeno possiamo dire fino a qual punto possa arrivare il massimo di forza di cui è capace.

Un' idea della distribuzione della forza magnetica attorno a una calamita può aversi spargendo la limatura di ferro sopra una carta posta in vicinanza de' suoi poli; questa allora si conforma in linee curve convergenti ai poli stessi. Ma è da avvertire che queste linee, benchè siano chiamate linee di forza magnetica non esprimono nè la direzione della corrente del vortice, nè le linee di movimento dell' etere, ma soltanto l' andamento delle linee su cui la forza risultante dai due poli ha una intensità e direzione determinata. Queste linee sono utili per studiare la perturbazione che può esercitare un corpo nel così detto campo magnetico, e formandosi anche attraverso i corpi isolanti ci fanno rilevare che l' azione del vortice magnetico non consiste in una circolazione finita che abbia luogo nello spazio circostante come nei conduttori comunicanti colla

pila di volta, ma in una azione rotatoria in orbite minime il cui effetto risultante si riduce ad esser quello stesso di una circolazione finita. Possiamo formarci una idea di questo movimento nell' etere guardando come già si disse ciò che accade in un eorso d' acqua che si faccia strada attraverso una massa tranquilla, il quale crea una moltitudine di piccoli vortici laterali, la cui copia e intensità decrescono colla distanza, e mentre continuamente gli uni svaniscono e si sciolgono , altri nuovi si riproducono finchè dura la corrente.

Ciò che chiamiamo *forza coercitiva* nelle calamite non è altro che la facoltà che hanno alcune sostanze (l'acciaio eminentemente) di conservare orientati questi movimenti interni orbitali. Però anche qui come in tutti gli altri casi di azioni consimili una tale orientazione richiede un lavoro nel primo momento, che è valutabile in forza viva, e può bene apprezzarsi con successive reiterazioni in quei casi in cui l'orientazione non è permanente, come nel ferro dolce. Così il Soret ha dimostrato che se per mezzo di aperture e chiusure ripetute di circuito elettrico si produca e distrugga il magnetismo in un ferro , la forza della corrente e il calore svolto nel circuito trovansi diminuiti. Così pure l' azione magnetica che si svolge nell'àncora può produrre un lavoro meccanico, ma questo si fa a spese del calorico del circuito (Favre). Nella magnetizzazione ordinaria colle calamite sembra che tal lavoro non esiga nessun consumo di forza viva, anzi al primo aspetto pare che la calamita generi essa stessa una forza, e molti vi si sono illusi, cercando con essa di produrre il moto perpetuo, ma inutilmente. La calamita tirando il ferro fa un lavoro, ma perde della sua energia, e quando ha i suoi poli congiunti non esercita più la stessa azione a distanza su gli altri ferri. Essa riacquista la sua forza quando nello staccare l'àncora si fa un lavoro eguale ed opposto a quello che essa fece nell' attrarla.

Lo stesso si vede nel problema inverso, cioè quando con una serie di magnetizzazioni e smagnetizzazioni fatte per via meccanica si produce la corrente. La macchina magnetelettrica dell' *Alliance* destinata a dar la luce elettrica mediante la corrente svolta per induzione delle calamite ce ne porge un bell' esempio. Se essa si giri a vuoto, cioè a circuiti aperti, basta la forza di un uomo a muoverne i rocchetti, ma se abbia da produrre la corrente di induzione, allora si esige la forza di due cavalli. L' equivalente meccanico del calore determinato con questa macchina, mediante il magnetismo è risultato identico a quello di Joule, malgrado che qui il calore sia prodotto per l' intermedio dell' elettricità, come già vedemmo nel disco di rame rotante tra i poli della calamita, il che induce necessariamente una complicazione. Quindi come bene osservava Ampére l' impossibilità di ottenere moto perpetuo colle calamite, come con tutti gli altri imponderabili, perchè le calamite agiscono come forze dirette a centri fissi che non danno aumento alcuno di forza viva, e non è in esse una causa permanente che promuova un nuovo *lavoro*, come è nella pila l' azione chimica.

La polarità magnetica è stata di spiegazione inaccessibile ai semplici principii della meccanica ordinaria fino a questi ultimi tempi, in cui gli studi pratici dei fenomeni delle rotazioni vi hanno gettato immensa luce. Il giroscopio è lo strumento che ci dà una idea precisa del modo con cui un mero movimento meccanico possa determinare i fenomeni di *orientazione* che vediamo nelle calamite. Il canone fondamentale *che i moti rotatorii tendono al parallelismo*, come riassume tutto ciò che spetta l' influenza reciproca delle rotazioni, così riassume la teoria de'movimenti magnetici; e ciò che avea dimostrato Ampére per le calamite è oggidì verificato per masse inerti influenzate da diverse rotazioni meccaniche. Quindi è che prendendo a base questo principio delle rotazioni magnetiche e comparandole

alle meccaniche, la cui teoria è si facile a concepire, si potrebbe con esse risalire fino all'azione di due correnti rettilinee con ordine di ragionamento inverso da quello tenuto precedentemente.

Vediamo con un caso solo di dilucidare questa materia. Quando per esempio il cerchio esteriore di un toro in rotazione col suo asse orizzontale è attaccato a una fune ritorta, ne nasce una coppia che tende a farlo rotare intorno alla verticale che passa per la fune, ma esso non obbedisce a questa forza, se prima non si è messo col suo asse di rotazione parallelo alla rotazione che tende a dargli la fune stessa. Perciò noi vediamo il cerchio del toro restar fermo malgrado la torsione e intanto alzarsi una estremità del suo asse finchè sia giunto a mettersi verticale, e con la rotazione parallella a quella della fune e allora ubbidisce anche alla rotazione di questa. Se a persona ignara di queste proprietà si presenti un toro girante chiuso in un involucro, essa troverà diversa mobiltà della massa in un verso o in un altro e sarà tentata a credere a una tendenza speciale della medesima verso una direzione dello spazio a preferenza di un'altra. Crederà, per es. che questo strumento abbia una tendenza verso il polo della sfera celeste, perchè come è ben noto esso può indicare la sua direzione sulla terra. Conoscendo la teoria delle rotazioni svanisce la meraviglia, perchè ciò deriva unicamente dalla legge che la rotazione dello strumento tende a mettersi parallela alla rotazione terrestre.

Nè questa tendenza come già dicemmo è qualche forza misteriosa, ma è semplicemente la risultante che nasce dalla composizione statica delle varie forze d'impulsione da cui sono animate le singole molecole, combinate colle reazioni provenienti dalle forze centrifughe e dalla coesione delle parti del corpo, che si risolvono in que' movimenti apparentemente speciali e bizzarri. Chi più vuole consulti il bel lavoro di Sire nel quale esso ha sviluppato queste belle

proprietà delle rotazioni (1). Da questo noi ricorderemo solo il fatto che una rotazione può produrre anche moti effettivamente traslatorii ogni qual volta tali movimenti siano richiesti a metter gli assi paralleli. Disposto infatti il giroscopio su di un apparato simile a quelli usati per le esperienze a forza centrifuga, e attaccatolo ad un' asta come un pendolo mobile secondo il raggio, in modo che il suo asse di rotazione stia nel piano del raggio e perpendicolare all'asse di rotazione del braccio della macchina che lo sostiene, quando questa gira si vedrà il giroscopio intero andare verso il centro di moto o allontanarsi da esso secondo che la girazione sarà nel medesimo verso o nell' opposto a quella del toro, e ciò è tanto più sorprendente in quanto che la forza centrifuga tenderebbe sempre ad allontanarlo. Se il toro pendolo avrà moto secondo la tangente del circolo esso precederà o seguiterà il raggio secondo la direzione della sua rotazione.

Ora perfettamente simili a questi sono i movimenti pei corpi magnetici. Se essi siano fissati pei loro centri di gravità, onde riesca impossibile il moto di traslazione, essi si dispongono in modo che le rotazioni de' vorticetti moleculari che li compongono diventino parallele; quindi i poli del medesimo nome si respingono, perchè affacciati hanno rotazioni opposte, e gli eteronimi si attraggono, perchè le rotazioni sono parallele. Se sieno liberi a muoversi, si allontanano o si accostano, ossia come dicesi si respingono o si attraggono quanto occorre per disporsi più lontano o più vicino al centro di moto secondo che richiede la risultante delle azioni rotatorie. Il mezzo che serve alla trasmissione di tali rotazioni è l' etere stesso intermedio che trovasi ancor esso in rotazione, e accade in esso ciò che avviene immergendo un giroscopio in un fluido messo pure in rotazione, il quale ancor esso forza il giroscopio a mettere la sua rotazione parallela alla propria. Volendo per-

(1) Sire *B. U. Archiv. sc. ph.* 1 Febr. 1858 p. 130.

tanto usare una similitudine per rappresentare l'interno delle calamite, non ci sembra quella sopra citata del Grove sufficiente, ma sarà più conforme alla verità l' immaginare invece tante piccole eliche o mulinelli simili a quelli che servono di trastullo ai fanciulli, che mobili al capo di una leva orizzontale, per l'impulso di un vento commune tutti si orientano nella stessa direzione, e acquistano un moto rotatorio nel medesimo senso.

Si vede inoltre dai citati esperimenti del giroscopio che il principio della composizione delle rotazioni spiega non solo i moti di *orientazione* de' corpi magnetici, ma anche in molti casi le traslazioni. Però a spiegar queste adequatamente devesi anche aver riguardo al principio meccanico generale della diminuzione di pressione che esiste intorno al centro ovunque sussiste una circolazione, la quale è causa di attrazione assoluta cioè di ravvicinamento, anche prescindendo dal principio della orientazione. Sicchè l' ipotesi di Ampère che ad alcuni sembra la più complicata di quante siansi immaginate per ispiegare i fenomeni magnetici è quella invece che ne dà ragione per intero dietro i meri principii della meccanica. Anzi essa getta gran lume sulla causa delle attrazioni in genere; perchè essendo dimostrato che una di queste azioni deriva da moti meccanici, potrà sempre stimarsi altrettanto delle altre, quantunque sia più oscuro il loro modo di operare.

Dicemmo che una delle più singolari proprietà del magnetismo è l'essere esclusivamente proprio di poche sostanze, e può dirsi che in grado veramente eminente lo sia di una sola, il ferro. Ma se è vera la teoria che esponiamo, e che l'azione magnetica consista una modificazione speciale prodotta tutto attorno nell'etere che circonda la calamita, siccome questo etere trovasi pure in moto in tutti i corpi, è manifesto che l'azione magnetica non dovrà essere affatto insensibile sopra le altre sostanze; ma vi potrà essere una capitale differenza secondo due casi possibili:

Il 1.° è che i vorticetti moleculari che trovansi in tutti i corpi siano o già diretti tutti per un verso, o almeno facili a dirigersi ad una orientazione determinata.

Il 2.° è che essi siano restii e talmente collegati tra loro e colle molecole cui circondano, da non avere sufficiente mobilità per cedere a quelle del vortice magnetico.

Nel primo caso, le correntelle moleculari prenderanno la direzione del vortice magnetico, e il corpo si dirigerà in modo che la linea della massima loro somma sia disposta secondo l'asse del vortice. Talora questa linea può non coincidere colla maggior dimensione del corpo, come con certi artifizi si ottiene in una sbarretta di acciaio rettangolare i cui poli siano diffusi per la larghezza, ma la legge di attrazione non è diversa per questo, le rotazioni dirigendosi sempre parallele, ossia affacciandosi i poli eteronimi. Lo stesso ottiensi con certe leghe di ottone o bronzo contenenti una minima quantità di ferro (Pianciani) che ricevono il magnetismo secondo la spessezza. Ma questi casi sono eccezionali e sempre si verificano con una polarità permanente. La lista delle sostanze che si diportano come il ferro è oggidì assai estesa e non comprende più i soli cromo nichel e cobalto e tra esse annoverasi il corpo più necessario alla vita l'ossigeno (1).

Se però la sostanza sia di tal costituzione da non permettere facile spostamento alle correntelle moleculari, non per ciò il corpo sarà esente dal sentire l'influenza del vortice magnetico: però allora questo si troverà contrastato nel suo interno, e non potrà restare indifferente in tutte le posizioni, ma si disporrà dentro il vortice per maniera da risentire la minore resistenza possibile del vortice stesso,

(1) Chi più desidera vegga il trattato *Sull'induzione* del Matteucci, e il trattato dell' Elettricità di De la Rive e l' eccellente trattato di fisica di Daguin in 4 volumi.

e ciò lo condurrà ad allontanarsi dalla sua parte più attiva, cioè ne avremo una apparente ripulsione. Tali corpi realmente esistono e si dissero *diamagnetici* per distinzione dagli altri che sul principio si contradistinsero colla denominazione di *paramagnetici* ita in disuso. Le loro proprietà singolari le esamineremo quanto prima; per ora è da concludere questo capo col riassumere i fatti, che dimostrano la resistenza di questo vortice magnetico, che abbiamo già indicato altrove (pag. 322).

Sospendendo con un cordoncino di seta un cubetto di rame di 15^{mm} circa di lato, tra i poli di un potentissimo elettromagnete, e torto fortemente il cordoncino e poi lasciatolo libero, talchè il cubo giri velocissimamente, se prima che finisca di storcersi tutto, e mentre gira colla massima rapidità si chiuda il circuito della pila, il cubetto si ferma istantaneamente e non si muove più malgrado la forte azione del cordone. Riaperto il circuito si rimette in moto immediatamente con la velocità di prima e può fermarsi quando piace nuovamente, e ripetersi più volte questo veramente ammirabile giuoco! Ora qual è la potenza invisibile che ferma quel cubo e lo tiene immobile ad onta della forza di torsione? Non altro certamente che l'azione del vortice magnetico e siccome non solo col rame può ottenersi quest'effetto, ma con tutti i metalli più o meno prontamente, secondo loro forza conduttrice, quindi questa resistenza è commune a tutti i corpi.

Ordinariamente questo fatto si spiega colla corrente di induzione, ma bene analizzando le circostanze tale spiegazione è insufficiente. Infatti perchè la corrente d' induzione si produca è mestieri che il cubo si muova, e finchè non si muove essa non si produce, quindi se questa corrente potè arrestare il cubo, essa però non può tenerlo fermo, perchè cessa di esistere quando esso si arresta, la torsione invece sussiste sempre e continuamente sforza il cubo a girare onde se ciò fosse prodotto dalla corrente, esso

non dovrebbe mai fermarsi, ma solo rallentare il moto fino al grado necessario perchè si equilibrasse la sua forza con quella della torsione, e il suo restar immobile nel campo magnetico indica che vi è un ostacolo continuo proveniente dai poli che lo arresta.

La spiegazione di questo mi par chiaramente dipendere dal detto sopra: il rame non è di que'corpi che lascino orientare le loro correnti moleculari, e il vortice magnetico cacciandosi tra di esse si rompe e si infrange, ed in tal azione esercita un attrito che arresta il moto del cubo; tale azione è continua e permanente come è permanente la torsione, la cui forza essa elide. Anche la primitiva corrente di induzione che si genera nel cubo all'atto della chiusura del circuito, non è in fondo che dovuta alla stessa causa, cioè a un rigurgito o riflusso del fluido etereo che deve prendere nuova disposizione nell'interno del corpo, come già dicemmo parlando dell' induzione elettrodinamica (§. 8.). Gli effetti poi di resistenza del vortice magnetico in una massa di metallo girante non possono mostrarsi in un modo più sorprendente che con l'esperimento consimile del disco rotante fra i poli. Qui l'attrito del freno invisibile del vortice magnetico è l' intermedio della trasformazione del potere meccanico in calore, e l'etere che sta nell' interno del corpo opera al modo stesso che un fluido ordinario, cioè impedisce il moto e assorbe la forza viva di una ruota girante convertendola in calore (Joule). Per la sua resistenza le molecole del corpo sono così messe in termica vibrazione, la quale può arrivare al punto di fondere le leghe metalliche facilmente fusibili (Tyndall). Questi fatti mettono in evidenza la resistenza dell'etere al moto della materia ponderabile, e considerandoli in relazione ad un ordine di cose più generico, si vede esser falso ciò che si dice comunemente che l'etere non resiste, giacchè questi fenomeni hanno luogo nel vuoto, dove non saprebbe immaginarsi altro che l'etere. Soltanto attesa la sua sottigliezza

e mobilità tale resistenza non ci si manifesta che quando esso è animato da enorme velocità come deve essere nei citati esperimenti. Ognun vede le importanti conseguenze che si potrebbero trarre da ciò relativamente al moto dei corpi celesti. Ma proseguiamo le ricerche sperimentali.

§. 12.

Diamagnetismo: azione del magnetismo sui corpi trasparenti.

Gli studi fatti finora ci hanno convinto che i fenomeni che si manifestano nei corpi possono riguardarsi come dipendenti da due stati della materia: uno grossolano e composto che chiamiamo materia ponderabile, l'altro sottile e attenuato che diciamo etere e imponderabile. Noi però non siamo autorizzati a riguardare l'etere come elemento chimico de'corpi essendo questa nozione riservata alle molecole ponderabili, che formano parte permanente de' medesimi, mentre l' etere se pure trovasi a diverso grado di densità in esse, per la sua mobilità è continuamente soggetto a mutazione, e, o tutto, o almeno una sua parte ha nelle diverse sostanze diversa mobilità. Abbiamo veduto che mentre in alcune può scorrere liberamente, in altre è ritenuto e impedito, in altre infine apparisce dotato di movimenti vorticosi quali sono i magnetici.

Trovandosi pertanto questo etere in tutti i corpi, era da aspettarsi che l' azione delle sostanze magnetiche sopra le altre non fosse assolutamente nulla, perchè formandosi attorno ad essi un vortice, ogni corpo immerso in esso ne dovea sentire l'influenza. Il magnetismo dovea essere pertanto per la presenza stessa dell'etere una forza universale. Ma questa conseguenza contrastava mirabilmente col piccol numero de' corpi riconosciuti come magnetici, onde se ne poteva trarre una obbiezione contro la teoria stessa. Ma la difficoltà è stata superata mercè i recenti studi de'fisici

che dietro la scorta di Faraday hanno realmente provato esser tutti i corpi soggetti all'azione magnetica anche indipendentemente dal ferro che possano contenere, salvo che in essi opera in modo diverso da quello che era conosciuto dall'antica scienza. Così il magnetismo che diede a Keplero la prima idea della forza che regola l'universo, è stato restituito al suo grado di forza cosmica, ma in un modo di agire inaspettato, però ancor esso dipendente dai principii che abbiamo esposto finora, come passiamo a dimostrare.

Il carattere distintivo dell'azione magnetica è, che il corpo che ne è il soggetto sia attratto dalla calamita, e colla maggior dimensione si diriga secondo la linea de' suoi poli che dicesi posizione *assiale* o *polare*: all'incontro la pluralità degli altri corpi sono respinti dall'azione magnetica e si dispongono colla maggior dimensione trasversalmente alla linea de' poli e questa dicesi posizione *equatoriale*. Questo secondo genere di forza fu detto *diamagnetismo* dal suo scopritore Faraday.

Una sbarretta di bismuto, di antimonio, di fosforo, di vetro pesante (borosilicato di piombo), e di molte altre sostanze, sospesa nel campo magnetico tra due poli di una forte elettrocalamita si dirige perpendicolarmente alla linea de' poli. Questa posizione si credette da principio che venisse presa a cagione di una debole polarità magnetica trasversale, quale sogliono facilmente contrarre l'ottone, il bronzo ed altre sostanze debolmente magnetiche (§. preced.), ma accurate ricerche mostrarono che il modo di agire era diverso. La sperienza fatta con palline delle sostanze più energiche, come sono bismuto, vetro pesante ecc. sospese a lunghi fili o al capo di leve orizzontali mobilissime, fecero vedere una manifesta ripulsione, talchè esse andavano a fermarsi lontane dal polo magnetico di qualunque nome esso fosse, e quando erano collocate tra i due poli esse si fermavano nel mezzo come il posto in cui era minore l'azio-

ne magnetica. Il disporsi pertanto delle sbarre equatorialmente era mera conseguenza di questa repulsione, poichè quella era la posizione della minore forza sollecitante.

Le ricerche fatte per vedere se le sbarre aveano polarità veramente opposta a quella della calamita inducente. non riuscirono a dimostrarla decisivamente, ma varii distinti fisici credono che possa aver luogo una vera polarità di tal natura. Il sig. Tyndall con un ingegnoso apparato è riuscito a ottenere dai cilindri diamagnetici mossi dentro spirali percorse dalla corrente dei movimenti in aghi magnetici delicati che egli interpreta come fenomeni di tale polarità. Ma forse i suoi risultati possono spiegarsi diversamente. Noi non cercheremo di decidere la questione, perchè a tutto rigore non ci pare impossibile che sotto l' influenza del moto magnetico possa riuscire predominante in qualche corpo una rotazione contraria a quella del vortice induttore. Benchè questo paia strano a prima vista, pure basta a perpersuadercene la possibilità, il ricordarci del fenomeno citato de' mulinelli ad ale elicoidali, due dei quali possono concepire una rotazione opposta nella medesima corrente, secondo la diversa inclinazione delle palette. Così anche qui la corrente del vortice magnetico potrà rinforzare non solo le correnti molecolari dirette secondo il vortice, ma anche quelle in senso opposto.

Infatti la diversa natura delle rotazioni e l'esser le une suscettibili di andare per un verso e le altre per un altro, deve dipendere dalla forma delle molecole integranti cui esse circondano, le quali secondo i diversi momenti d'inerzia e la proporzione delle loro dimensioni e secondo l' inclinazione delle linee esteriori della figura possono offrire la presa in un verso o in un altro. Ed è questa appunto la ragione per la quale due elicci oppostamente inclinate nella stessa corrente acquistano opposta rotazione. Fu già notato da un pezzo che la sostanza più magnetica era quella che avea una struttura più fibrosa, onde la forma elementare

delle molecole non è certo indifferente. Di più come in certi congegni meccanici non basta contemplare una parte ma bisogna considerare il tutto, talchè per es. il mulinello di Woltmann è tenuto contro la corrente dalla corrente stessa per l'addizione di una ventola, così può accadere un tal contrasto in questi corpi, che l'azione sopra una parte obblighi l'altra ad andare in verso opposto della corrente. Così appunto vediamo nelle navi che il timone colla sua reazione fa far viaggio alla nave contro il vento. Quindi come il magnetismo del ferro dipende non dalla creazione di nuove correnti, ma dalla facilità con cui si orientano quelle già esistenti nei circuiti molecolari, così qui potrà essere che si orientino con maggior facilità le contrarie. Onde non si vede una assoluta impossibilità che possa esistere una polarità *diamagnetica*.

Le sostanze suscettibili di una influenza magnetica non sono soltanto i solidi, ma anche i liquidi e i gas. La fiamma sopratutto carica di carbone è violentemente respinta dalla calamita, ma l'ossigene è magnetico. L'intensità assoluta di tali azioni però è minima in confronto del magnetismo del ferro ordinario, scegliendo anche quelle che sono le più energiche, talchè rappresentando per + 1000 000 quella del ferro, il magnetismo della soluzione di cloruro di ferro e dell'ossigeno a peso eguale sarebbero + 140 e + 377 e la forza diamagnetica dell'acqua e del bismuto sarebbero — 3 e — 65 (1), onde esse sono assai deboli ad eccezione di quella dell'ossigeno, la quale è la più notabile e deve avere non trascurabile influenza sulla variazione del magnetismo terrestre. Si calcola che l'ossigene dell'atmosfera equivale ad uno strato di ferro di un decimo di millimetro di spessezza, e variando il suo stato magnetico colla temperatura può contribuire alla variazione diurna delle bussole insieme coll'azione ben provata dell'elettricità atmosferica.

(1) Per altre cifre V. Daguin Tom. III. pag. 781 e 784.

Benchè estremamente deboli queste forze pure esse non sono di ordine trascurabile in natura e certamente a parità di massa ponderabile in cui risiedono sono più energiche che quella della gravitazione universale, colla quale si richiesero molte centinaia di libre di materia per ottenere dei movimenti nella bilancia di torsione ben minori di quelli che si ottengono sopra una pallina di bismuto con un elettromagnete non istraordinario, come sperimentò effettivamente Reich su ambedue le forze.

Nessuna connessione si è finora trovata tra il diamagnetismo e le altre proprietà chimiche o fisiche delle sostanze (1), soltanto si rileva che esso è dipendente dalla struttura moleculare, e visibilmente questi fenomeni sono collegati col moto dell' elettrico nell'interno, come vedemmo nelle correnti destate dal calore. In mezzo a tanta oscurità, questo filo di analogia va diligentemente ritenuto, e non è da trascurare che i corpi più diamagnetici, bismuto e antimonio sono quelli che tra conduttori sviluppano correnti termiche più energiche quando sono accoppiati. Ma è da avvertire che mentre essi spingono la corrente in verso opposto, ambedue sono diamagnetici; onde non può nemmeno collegarsi questa proprietà immediatamente coll' altra.

La struttura moleculare sia essa naturale, o artificiale, cioè data ai corpi per pressione meccanica o altro modo, influisce decisamente sulla direzione che essi prendono nel campo magnetico. Infatti nei metalli lo stato diamagnetico svanisce collo stato di solidità per la fusione, come svaniscono le correnti termelettriche: il calore però non distrugge questa proprietà ne' corpi non metallici, fosforo, acqua e gas. E anche qui possiamo rilevare che in questi tale proprietà deriva da una circolazione strettamente moleculare, mentre nei metalli la circolazione spetta alla

(1) Alcuni hanno cercato connetterlo colla densità atomica, ma sono tante le eccezioni che nulla può dirsi di certo.

massa finita. Questo fatto ci riporta alle idee già emesse altrove sulla differenza di circolazione elettrica nei metalli e negli isolanti, e combina con quello che fu detto allora, cioè che i metalli hanno una circolazione finita colà dove gl' isolanti l' hanno moleculare. Notammo già che il ferro in istato di fusione perde quasi affatto la sua forza magnetica che non è più riconoscibile fuorchè con mezzi potentissimi.

Le sostanze debolmente magnetiche possono agire come diamagnetiche se si dispongono meccanicamente a lamine in certa maniera, e il Matteucci dà pei corpi di diversa densità artificiale la regola, che il corpo si dirige colla *linea di massima compressionè assialmente se è magnetico, ed equatorialmente se è diamagnetico* (1). Quindi un cubo di bismuto compresso si mette colla linea di compressione equatorialmente. In cubi fatti con lamine sottili artificiali, le lamine pigliano la direzione equatoriale, ciascuna di esse operando come una sbarretta. Cubi tagliati artificialmente nei cristalli di bismuto secondo differenti direzioni di clivaggio, restar possono anche neutrali secondo la direzione del clivaggio rapporto alle facce artificiali, ma in generale, il piano di clivaggio più facile prende la direzione assiale nelle sostanze magnetiche, e l'equatoriale nelle diamagnetiche. Anche quì ciascuna lamina sembra operare come se fosse una sbarra isolata. Se i tre clivaggi sono eguali come nel sal gemma, o nulli come nel quarzo non si ha orientazione. Le sostanze fibrose e l' avorio si dispongono equatorialmente.

Dipendendo come si vede la posizione definitiva di una sostanza nel campo magnetico dalla forma esterna e dalla aggregazione interna, era naturale di esaminare i cristalli che offrono una notabile diversità di struttura nei varii sensi. Queste ricerche furono fatte da Plucker e da al-

(1) *Trattato dell' induzione* pag. 254.

tri, e si credette da prima rinvenirvi delle relazioni tra la posizione che prendevano e la distribuzione dell'etere che viene indicata dai fenomeni ottici. E in fatti in molti cristalli a un asse, questo si dispone assialmente in quelle sostanze che diconsi attrattive dagli ottici e che hanno l'asse di maggior densità secondo l'asse ottico, le altre dirigonsi equatorialmente: in quelli a due assi la linea media tra essi si dirige pure assialmente. Ma la conclusione finale a cui si è arrivato è stata che nei cristalli la direzione nel campo magnetico dipende più dalla direzione del clivaggio che dagli assi ottici, e *che la linea di maggiore densità è quella secondo la quale si esercitano le forze magnetiche con maggiore energia, talchè se la sostanza è magnetica questa linea si dispone assialmente, se diamagnetica equatorialmente.* Il che combina col risultato ottenuto dalle pressioni artificiali.

Nei diamagnetici adunque è la linea di maggiore densità che si dispone equatorialmente, ossia quella in cui nell' unità di misura trovasi maggior numero di molecole, quindi il fatto è dell' ordine stesso che vediamo nei solidi omogenei di forma allungata, nei quali la linea di maggiogiori molecole si dispone pure equatorialmente.

Si vede pertanto da questi fatti che la posizione che prende un corpo nel campo magnetico dipende 1.° dall'essere esso magnetico o no, e quindi dall'esser attratto o respinto dalla calamita. In 2.° luogo dallo stato di compressione interna. La miglior maniera che noi possiamo proporre per spiegare questi fenomeni ci pare quella già indicata nel paragrafo precedente. Noi possiamo distinguere i corpi in due classi, gli uni che abbiano la suscettibilità di dirigere i loro movimenti rotatorii secondo il vortice magnetico, gli altri che non godano di questa proprietà. I primi si dicono magnetici, i secondi saranno i diamagnetici. In questo caso è evidente che rotazioni aderenti alle molecole troveranno un grande ostacolo a proseguire il loro mo-

vimento nel vortice magnetico, e naturalmente la linea che contiene maggior numero di tali rotazioni andrà a porsi colà ove il movimento contrario sia minore. Se siano libere interamente esse si allontaneranno dal polo della calamita, e se siano obbligate a stare in mezzo si metteranno nella regione del campo di minore energia che è la linea equatoriale tra i due poli, donde la ripulsione apparente. Ciò avverrà a un dipresso come vediamo nelle correnti d'acqua, nelle quali un galleggiante libero si dispone in tal modo che offra la minor resistenza al fluido. La linea secondo la quale il vortice troverà la somma maggiore delle resistenze sarà in un corpo omogeneo la maggior dimensione e quella di maggior densità in un corpo compresso: quindi essa si dirigerà equatorialmente. Se poi il corpo sia magnetico la somma delle rotazioni mobili e disponentesi parallelamente a loro stesse, secondo che si è detto trattando del magnetismo, forzerà il corpo a dirigersi assialmente. Gli aggregati di lamine prenderanno l' una o l' altra posizione secondo che prevarrà in essi l'azione della densità o quella della forma esteriore, ma la prima in genere deve esser più efficace, operando direttamente sulle rotazioni moleculari e alterando la mobilità del mezzo.

È conseguenza di questa teoria che i corpi diamagnetici risentano nel vortice magnetico una resistenza al loro movimento meccanico. Questa resistenza è messa in piena luce dai fatti indicati alla fine del §. precedente, del disco o del cubo di rame rotante posto tra i poli della calamita il quale essendo diamagnetico resta fermo malgrado la torsione del filo che lo sollecita a girare. Questa resistenza poi naturalmente deve esser più efficace in que' corpi che meglio danno il passo all'etere e al suo vortice, cioè nei più conduttori, come il rame ecc.

Nei corpi in cui la direzione fra poli è propria delle singole molecole come sono i liquidi e i gas, e non degli aggregati come i solidi, ha luogo una circostanza la quale

mostra che questa forza si diffonde per una certa pressione relativa: questa è che una sostanza magnetica può comparire diamagnetica, se sia immersa in un mezzo più magnetico di lei. Tale stato relativo è analogo a quello che si ha nei corpi gravi immersi in un fluido specificamente più pesante di loro, che appaiono andare contro la gravità, talchè il principio differenziale di Archimede sulle pressioni può applicarsi all'azione del magnetismo. È questo un fatto assai importante il quale indica che attorno al magnete esiste realmente una pressione continua nata dal movimento magnetico, e conferma quanto si diceva che l'azione diamagnetica si esercita mediante il moto di un fluido che determina il corpo ad andare nella regione di minore attività del vortice.

Ma qual prova si ha di queste rotazioni intestine dei corpi non magnetici e che abbiamo invocato più volte? Delle dirette nessuna, perchè tali rotazioni non si possono nè vedere nè toccare, e chi non vuole che questo genere di argomenti, bisogna che si rassegni a non studiare la filosofia della natura; però le indirette non mancano. Ampère quando conobbe la scoperta di Seebeck delle correnti termelettriche ne ebbe gran piacere, perchè così si vedevano di fatto delle correnti esistere nei circuiti tutti metallici, e queste destate da debolissime forze elettromotrici onde ne potevano esistere delle simili anche nelle molecole di altre sostanze come il ferro ec. (1). Ora però ne abbiamo delle prove più manifeste, e anche queste le dobbiamo al tante volte lodato Faraday.

Trovò esso che quando un parallelepipedo di vetro pesante o anche di vetro ordinario era posto fra i poli di una potente elettrocalamita e percorso lungo la linea polare da un raggio di luce polarizzata, il suo piano di polarizzazione si trovava deviato. La deviazione si fa nella di-

(1) V. *Recueil ecc.* pag. 378.

rezione delle correnti Amperiane che concepirebbe un ferro posto fra i poli della calamita. Nei corpi cristallizzati tale rotazione è più difficile ad ottenersi, ma può aversi anche in essi, e più o meno grande in tutti i corpi trasparenti solidi o liquidi.

Tale proprietà è analoga a quella che offre il quarzo, e già dicemmo che Fresnel ne diede ingegnosamente la spiegazione mostrando che ciò accadeva perchè il raggio luminoso da unico che era all'entrare, si divideva in due nell'interno del cristallo, e che ciascuno di essi era formato non di vibrazioni rettilinee, ma circolari, e giranti in verso opposto. Esso potè separare questi raggi con ingegnoso sistema di prismi e dimostrare che essi godevano della polarizzazione circolare come nasce dalle riflessioni totali interne nei prismi di vetro. Dimostrò che la deviazione del piano di polarizzazione nelle lamine di piccola spessezza nasceva dalla ricomposizione novella delle due vibrazioni circolari una *dextrorsum*, e l'altra *sinistrorsum*, in una vibrazione unica rettilinea, e l'angolo di deviazione dipendeva dal ritardo relativo di uno dei due raggi che aveano nel cristal di monte diversa celerità.

Si sapeva ancora che tale proprietà della rotazione del piano di polarizzazione non è esclusiva del quarzo, ma la posseggono varie altre sostanze liquide, come lo sciroppo di zucchero, la destrina, l'essenza di trementina, che la conserva anche nello stato gassoso, donde si conclude che in due modi può essere nei corpi questa proprietà: una che risiede nelle ultime molecole e tali sono i suddetti corpi; l'altra che proviene dall'aggregazione moleculare nello stato solido e questo è il caso del quarzo, perchè esso gira a destra o sinistra secondo le faccette della figura plagiedrica; ma tolta questa disposizione non agisce più, e la silice fusa è inerte.

Un terzo modo era quello del magnetismo, dove tale fenomeno è diverso per una circostanza essenziale. Questa

è che nelle sostanze sopra nominate la direzione della rotazione si fa in un verso fisso secondo la direzione del raggio trasmesso, talchè voltato il sistema rotante, tutto resta lo stesso: accade in sostanza come quando si guarda una vite, che per qualunque capo si tenga in mano essa gira sempre nello stesso verso. Quindi se il raggio attraversa la lastra in due direzioni opposte, p. es. prima da *a* a *b* e poi riflettendosi viene da *b* verso *a*, l' effetto di deviazione è nullo.

Per l'opposto nel caso del magnetismo, la deviazione non dipende dalla posizione della lastra, ma della calamita, talchè la rotazione si fa a sinistra se il polo sud sta verso l' osservatore, e andrà a rovescio se il polo nord sia il più vicino ad esso. Cogli elettromagneti ciò si ottiene facilmente rovesciando solo la corrente magnetizzante. Ma coi magneti un raggio può percorrere più volte la spessezza della lastra e uscirne sempre più deviato, quanto è più lungo il tragitto dentro di essa, mentre nelle sostanze che naturalmente hanno la rotazione come il quarzo, se il raggio si trasmetta un numero pari di volte, la deviazione naturale in fine è annullata.

Questa differenza mostra che i fenomeni non hanno rigorosamente la stessa origine. Infatti in due modi può ottenersi che le due spirali una dextrorsum, l'altra sinistrorsum, in cui secondo la teoria succitata si divide il raggio nell'ingresso, vengano a sovrapporsi nell'egresso con diversità di fase o di angolo di rotazione.

Il primo è come si disse facendo camminare più presto uno de' raggi, perchè all'uscita mentre nella data lunghezza del tragitto un raggio avrà fatto *n* giri, l'altro ne avrà fatto *n* più o meno certo numero di gradi.

La seconda è quella di far camminare le molecole nelle loro orbite sui due raggi con velocità giratorie diverse, talchè mentre uno fa una circonferenza, l' altro nè faccia una più qualche frazione di grado; onde alla fine di

n giri si avrà un avanzo di fase, come nel primo caso, ma senza separazione di raggi.

Avendo la sperienza della doppia rifrazione nel quarzo dimostrato che i due raggi camminano con diversa velocità di propagazione, non vi può esser dubbio che la prima maniera non sia la vera per questa sostanza. Onde ne viene che tanto un raggio accelera andando da destra a sinistra, e tanto lo stesso raggio ritarderà se debba andare da sinistra a destra, perchè nel primo caso la sua rotazione si fa a modo del giro moleculare che l' accelera, e nel secondo si fa in verso opposto che lo ritarda.

Ma per la deviazione del raggio prodotta dalle calamite, tale doppia refrazione non è ancora stata dimostrata, onde l' acceleramento o ritardo del raggio, deve spiegarsi nel secondo modo detto di sopra. Anzi in questo modo solo potrà il raggio accelerarsi tanto nell'andare che nel venire, perchè solo in questo caso le rotazioni sono indipendenti dal verso e dalla velocità di traslazione dell'onda, e si fanno nello stesso senso, non mutando il verso della girazione della molecola, o l'onda vada da *a* a *b*, o da *b* ad *a*. Quindi fluisce spontanea la spiegazione della deviazione del piano di polarizzazione dal principio, che nei corpi soggetti al magnetismo la vibrazione non si conserva più lineare nel primo piano di polarizzazione, ma trovando un mezzo in cui sono rotazioni in due versi principali per la influenza della calamita, il raggio luminoso stesso si propaga per vibrazioni circolari, colla differenza però che quelle che camminano *secondo* il vortice magnetico sono *accelerate*, e le contrarie sono ritardate. Questa rotazione del piano di polarizzazione essendo sempre piccola, cioè 12.° o 13.° per le più potenti forze magnetiche in un tragitto di circa un pollice, si deduce che l' accelerazione sul giro dell' atomo luminoso prodotto dall'azione magnetica è piccolissima fra-

zione di quella velocità che anima l'atomo stesso (1). Tale rapporto può dare una idea della velocità del vortice magnetico rapporto a quello delle vibrazioni circolari luminose, donde apparirebbe esser questo assai lento, in confronto di quei moti circolari che ammettonsi nella luce.

Da ciò può dedursi che l'azione di un corpo magnetico deve forzare a girare con moto circolare nel proprio interno i moti eterei che provengono dall'esterno. Di questo abbiamo una prova assai interessante nella teoria data da Ampère per le calamite rotanti nel mercurio. Dimostrò esso che quando la corrente è trasmessa pel corpo della calamita stessa, la porzione rettilinea di corrente che la percorre è come se non esistesse, cioè *come se fosse soppressa quella parte del circuito* (2), onde bisogna dire che il moto rettilineo della corrente si trasforma in circolare nella calamita stessa risolvendosi in un acceleramento delle sue rotazioni moleculari, come l' oscillazione rettilinea luminosa si trasforma in circolare.

Se tutte le sostanze diamagnetiche fanno rotare nel verso della corrente il piano di polarizzazione, ve ne sono però alcune delle magnetiche, come il cloruro di titanio e certi sali in soluzione che lo fanno girare in verso opposto. Il cloruro di ferro fra gli altri esercita una forza 6 a 7 volte maggiore della diamagnetica dell'acqua. Questo fatto conferma ciò che credono i fisici più communemente, cioè che l'azione del vortice magnetico non si eserciti direttamente sulle molecole luminose, ma solo indirettamente modifican-

(1) Supposta una deviazione di 20^{o} per un pollice, l' avanzo di un raggio sarà 10^{o} e il ritardo dell' altro pure 10^{o} e siccome in un pollice si fanno 4 milioni circa di onde di luce gialla, quindi l' avanzo si ridurrà, calcolo fatto, ad essere poco meno di un centesimo di secondo in ogni girazione orbitale.

(2) Ampère *Recueil* pag. 369.

o la materia pesante. Tale rotazione negativa nelle sostan-
e magnetiche forma una singolare eccezione, ma essa può
spiegarsi col dire che in questi corpi la parte magnetica
formando una non piccola parte delle rotazioni totali del
corpo, questa porzione resta meno accelerata nella rota-
zione che le altre contrarie, appunto perchè avendo già in
parte la velocità stessa del vortice, questo non può aumen-
tare egualmente il loro moto comunicando nuova veloci-
tà, quindi l' effetto prevalente è quello delle rotazioni op-
poste che sono comparativameute più riforzate perchè gli
offrono maggior resistenza.

Per le sostanze diamagnetiche la deviazione del rag-
gio è stata trovata proporzionale alla intensità del magne-
tismo impiegato, e per le direzioni oblique si rinvenne sta-
re in rapporto diretto colla componenté magnetica, e in ra-
gione inversa del quadrato delle distanze come tutte le al-
tre azioni. Ma essa pure è influenzata dalla compressione
(Matteucci) e da tutto ciò che può alterare la libertà delle
molecole, onde il potere rotatorio cresce coll'aumentare la
loro libertà, come p. es. scaldando i vetri, e per lo con-
trario seema comprimendoli. Questa è anche la ragione per
cui è tanto debole l'effetto della rotazione nelle sostanze cri-
stalline, specialmente quelle di forma più complicata. Essa
si era creduta proporzionale alla forza rifrangente, ma i
recenti lavori di Verdet hanno dimostrato che ciò non ha
luogo e che non si verifica per queste rotazioni la legge
trovata per le altre di essere in ragione inversa del qua-
drato della lunghezza dell'onda (1). Donde si ha un l'altra
ragione per ammettere che non è la stessa l' origine e il
meccanismo delle due rotazioni.

Malgrado i molti studi fatti in questa materia, molt
resta ancora da fare. Il diamagnetismo é di osservazione d
licata, e la difficoltà di procurarsi sostanze pure, e di stru

(1) V. *Ann. de ch. et Physique*. Decembre 1863.

tura e forma regolare è un grande ostacolo a stabilire una teoria generale di questa forza. Dall' esposto però risulta manifestamente:

1.° Che il magnetismo è realmente una potenza che ha influenza su tutti i corpi. 2.° Che i moti rotatorii interiori conclusi per le calamite esistono anche negli altri corpi, ma colla differenza che in molti non hanno sufficiente mobilità per orientarsi secondo il vortice magnetico, ma ciò non ostante possono sentirne l'influenza. 3.° È conseguenza di ciò che il diamagnetismo non è una forza speciale, ma un semplice risultato della resistenza che incontrano le circolazioni moleculari nel vortice magnetico, e che la direzione che prendono i corpi dipende dal numero e dalla vicinanza delle molecole stesse, e che perciò la linea di maggior densità è quella che regola la posizione del campo magnetico, dandogli quella de'magneti se ha le correnti molecolari mobili e orientabili, e spingendolo al luogo ove è minore la resistenza se queste non sono orientabili. 4.° In genere poi risulterebbe che le rotazioni magnetiche sarebbero più lente delle altre che si ammettono per la luce come causa della rotazione del piano di polarizzazione, e probabilmente si fanno in vortici che abbracciano un gran numero di molecole, onde queste circolazioni sono grandi assai relativamente ai vorticelli moleculari, per cui questi si diportano come se fossero immersi in correnti rettilinee, e per ciò, dietro la forma delle molecole, può accelerarsi anche quella rotazione che ha luogo in verso contrario al vortice magnetico. Tale è il concetto che sembra potersi formare dall' immenso numero di fatti finora raccolti, non tutti a dir vero bene d'accordo tra di loro, ma nessuno de'quali sembra contrastare all' idea fondamentale. 5.° Che queste girazioni siano poi quelle che nell'interno propagano il moto elettrico o dell'etere si può dedurre dai fenomeni ottici, e dalla riflessione che fa Ampère il quale nota acutamente che nell'esperimento del magnete rotante immerso nel mercurio la

parte della calamita per cui passa la corrente è come se fosse priva di corrente rettilinea. Bisogna quindi dire che il moto dell'etere nell'interno de' corpi magnetici si propaga per giro circolare senza cui non si potrebbe secondo il calcolo avere la rotazione del cilindro magnetico.

Questi fatti ci mostrano pure un'altra cosa, ed è che le pretese azioni a distanza non sono che azioni esercitate coll'aiuto di un mezzo frapposto. Infatti in questi fenomeni quante azioni diverse e tutte strane non dovrebbero immaginarsi! Un corpo magnetico perchè immerso in uno più magnetico di lui esigerebbe che l' azione attrattiva fino a certa distanza si cambiasse in ripulsiva. L'azione sul cubo di rame girante dovrebbe essere non solo ripulsiva, ma revolutiva onde impedire l' effetto della torsione e generare una coppia che la distruggesse, perchè il cubo essendo simmetrico tal coppia non può nascere dalle sole forze attrattive. Dovrebbe ammettersi una forza revolutiva per la rotazione del piano di polarizzazione, ma che fosse diversa nei diversi corpi e per uno andasse a dritta per gli altri a sinistra e via discorrendo.

Certamente se vi sono difficoltà a concepire questi effetti come dovuti all' etere, non ve ne sono punto delle minori e concepirli come dovuti a forze astratte, le quali dovrebbero avere caratteri contradittori ed arbitrari, il che solo basterebbe ad escluderle.

Da questo si vede che con ragione fin dal principio di questo articolo abbiamo asserito che il magnetismo è ora messo nell' ordine delle forze cosmiche, giacchè non vi è corpo che non ne senta l'influenza. Se si aggiunga a questo ciò che fu detto a proposito de'fenomeni d'induzione, e della grande quantità di elettrico che si mette in circolazione nel movimento de' metalli in faccia alla calamita terrestre, si vedrà che questa azione non può esser disprezzata nei fenomeni moleculari e nemmeno in quelli della gravitazione. Probabilmente alcuni fenomeni delle comete sono dovuti a

questa causa e la ripulsione delle particelle delle code e delle chiome possono esser diamagnetiche. Forse da essa hanno la loro spiegazione le differenze de'risultati ottenuti da Baily colla bilancia di torsione nell'esperimento di Cavendish usando palline di sostanze diverse (1).

Nè ciò parrà strano, essendo noto oggidì che il magnetismo si estende fino all' ordine ben più elevato delle forze planetarie. Infatti sembra già provato che esso non è proprietà esclusiva del nostro pianeta : noi troviamo degli aeroliti magnetici: una debole influenza lunare sui magnetometri dipendente dall' angolo orario di quest' astro sembra pure provata dai lavori di Kreil, Sabine Bache ed altri. Il magnetismo solare se non è certo ancora, è però provato che quest'astro agisce sulla terra, sia direttamente, sia indirettamente come una calamita, e il periodo decennale delle macchie solari che va d' accordo col periodo delle fluttuazioni magnetiche, prova certamente che le variazioni nell' astro centrale reagiscono a distanza sui pianeti per mezzo dell'agente magnetico (2), mentre finora si era creduto che la sola forza da tal centro proveniente e operante a distanza fosse la gravità.

Non e quindi più assurdo ammettere nello spazio celeste un mezzo in movimento capace di trasmetter l'azione degli astri, anche in un modo diverso dalla vibrazione che costituisce le radiazioni, il qual movimento noi non esiteremo a chiamare vortice, malgrado il ridicolo sparso su questa parola. Ogni astro e ogni calamita sarebbero cinti da questo vortice, ma in queste per le piccole dimen-

(1) V. Mem. Astr. Soc. London Vol. XIV. pag. 78.

(2) Quest' argomento non scema di forza anche ammettendo che l'azione sia indiretta perchè sempre si esige un mezzo diverso dalla luce e dal calore per produrre tali fenomeni; giacchè nè la temperatura nè verun altro elemento noto è variabile decennalmente.

sioni le loro azioni presto divengono insensibili. Solo avvertiamo che tal vortice deve esser costituito di rotazioni esiguissime, anzichè di una di traslazione continua circolare, però la risultante delle prime può produrre un effetto analogo al secondo come è noto che dimostrò Ampère per le calamite. Ma ciò non toglie che una parte possa essere in traslazione, e Fresnel stesso ammise che una porzione dell'etere circostante alla terra era trasportata con essa.

§. 13.

Ricapitolazione e conclusioni.

La lunga e difficile materia che abbiamo passato in rassegna, ci obbliga per commodo de' lettori a riassumere in breve il detto diffusamente, onde potere presentare loro sotto un quadro riunito l'ordine delle idee che abbiamo esposto, e il filo de'ragionamenti da cui siamo stati guidati alle nostre conclusioni: filo che talvolta sembra essere interrotto dalla necessità di trattare separatamente diverse cose.

Nello studio dell'elettricità noi abbiamo incontrato più lacune che negli altri due precedenti, e benchè abbiamo cercato di non perdere mai di vista i fatti, tuttavia spesso siamo stati costretti nella loro mancanza di supplire colle analogie e colle congetture probabili. Delle diverse conseguenze a cui siamo arrivati, alcune sono communi e saranno facilmente ammesse, non ci illudiamo però al segno di credere che tutte avranno questa sorte, ma speriamo che almeno prima di venir rigettate saranno esaminate, e se dopo questo esame ne saranno proposte delle migliori, noi vi faremo sinceramente applauso. Ecco pertanto il riassunto della nostra trattazione.

I fenomeni conosciuti volgarmente col nome di elettrico, ci mostrano l'esistenza in natura di una forza di carattere espansivo che vien messa in attività da tutte le a-

zioni che turbino il sistema moleculare, siano esse meccaniche, calorifiche, chimiche o magnetiche. Questa forza ci si manifesta in doppio stato, uno detto di *tensione* accompagnato da attrazioni e ripulsioni de' corpi leggeri, l'altro detto di *corrente* riconoscibile alle decomposizioni chimiche e alle influenze magnetiche.

Lo scoprire la natura di questa forza era lo scopo propostoci in questo capo. Un esame delle relazioni tra i due suddetti stati presi specialmente a studiare nell'apparato più opportuno, quale è la pila di Volta, ci ha mostrato che essi sono sempre *correlativi*, e che uno finisce al cominciare dell'altro, donde risulta essere *uno stesso l'agente messo in moto e che si manifesta con questi due effetti diversi all'esterno.* Le proprietà che mostrano i conduttori attuati da questa forza, quando si congiungono con essi i poli della pila, ci han dimostrato che essa non è meramente residente alla superficie, ma che penetra l'interno della massa ed è capace di disgregarla meccanicamente o decomporla chimicamente. Ma in tali effetti si mostra una *direzione determinata dell'azione*, onde si distingue dalle mere forze di attuazione esercitata sui corpi leggeri e dai meri moti oscillatori. Inoltre nei conduttori così attuati si è riconosciuta la facoltà di superare resistenze permanenti e attriti, dal che si conclude che essi sono animati da una forza viva che restituisce al sistema la quantità di moto distrutto dalle resistenze, e così dà *luogo ad un vero lavoro.* Perciò questa non può caratterizzarsi per una mera forza statica dipendente da un mero equilibrio di fluidi, o da forze tendenti a centri fissi, come sono le orientazioni di polarità, ma deve ritenersi come *una condizione dinamica,* capace di fornire la forza viva per operare un continuo lavoro, sia esso meccanico, termico o chimico.

Con ciò la forza resta caratterizzata di un genere distinto da quelle esaminate nei capi antecedenti, e la pila

è meritamente da considerarsi come una macchina in attività che esercita un vero lavoro.

In una tal macchina pertanto sono da ricercarsi due *elementi*, 1.° il principio di azione, ossia il generatore della forza; 2.° il mezzo con cui questa si trasmette da un organo all'altro.

In quanto al primo non è difficile riconoscerlo nella alterazione chimica de' materiali che compongono l'elettromotore, onde la pila ordinaria produce il lavoro *bruciando* zinco come nelle ordinarie macchine a fuoco si produce *bruciando* carbone. Ma non è così ovvio formarsi una giusta idea del secondo, cioè del mezzo di trasmissione.

La prima cosa che a questo proposito si presentò spontaneamente ai fisici fu quella di ammettere una materia in moto, ma questa idea è di interpretazione troppo vaga e tocca ai fatti il decidere come debba intendersi. Infatti un tal moto poteva essere o uno stato vibratorio del conduttore analogo a quello che costituisce il calorico, ovvero il trasporto di un fluido; e questo fluido poteva consistere o nella materia pesante attenuata che ritenga però tutte le proprietà della materia ordinaria, o in altra materia sottile che entri qual costitutivo in tutti i corpi, e probabilmente in quella stessa di cui i fenomeni della luce ci hanno mostrato l'esistenza.

Lo studio comparativo de' moti vibratori messo a confronto con quelli della corrente dimostra che il moto animatore dei conduttori non è mera vibrazione termica. Infatti con essa non si verificano quelle relazioni che la sperienza ha trovato aver luogo tra la temperatura e la intensità della corrente, quale è principalmente quella che la temperatura sia in ragione de'quadrati dell' intensità. Invece queste leggi sperimentali ci conducono a concludere direttamente che l'elettrico segue la legge di tutti i fluidi in moto, e soddisfa all'equazione di continuità, cioè che la sua velocità è in ragione inversa delle sezioni. Onde ciò che dicesi *corrente*

non può consistere che in un vero flusso di materia nell'interno de' conduttori; restando così confermata la nozione espressa dalla parola con cui si indica il fenomeno.

Restava pertanto a decidere se essa fosse un flusso di materia ponderabile o di altra più sottile. Fermandoci alle semplici apparenze che accompagnano le scariche di forte tensione nell'aria o nei mezzi rarefatti o anche in certi solidi, si sarebbe tentato grandemente di attribuir tutto a materia ponderabile, perchè veramente non si dà scarica senza trasporto di essa. Ma riflettendo d'altra parte che la materia trasportata è semplicemente quella che costituisce la superficie esteriore de'corpi, e che nessun vestigio di materia ponderabile è possibile rinvenire trasportata nell'interno de'conduttori continui, siamo condotti a concludere che in tali casi il trasporto materiale è piuttosto una conseguenza dell' effetto espansivo della corrente che stacca dai corpi quelle particelle e da esse è agevolata a scaricarsi, di quello che ammettere che tutto sia mero movimento dellla materia del conduttore stesso.

Inoltre, essendo stato dimostrato, che l'attuazione della corrente non consiste in un mero tremito interno del corpo come il calore, ma che vi è un vero trasporto o flusso, è necessario ammettere che malgrado la coesione delle particelle del conduttore una porzione di esse possa cambiar sito e trasportarsi con immensa velocità quanta conosciamo aver luogo nell'elettrico. Ora può sempre domandarsi per qual modo la materia ponderabile acquista una sì prodigiosa mobilità e attività, e per forze talora molto piccole può penetrare lunghezze enormi di conduttori malgrado la loro resistenza? Ciò non si può spiegare che con una delle due alternative, o supporre nell'interno del conduttore la materia ponderabile circolante in uno stato di attenuazione tale che non incontri un minimo ostacolo, e non mostri più le proprietà della materia pesante talchè non possa più esser riconosciuta ai suoi caratteri fisici e chimici: ovvero col-

l'ammettere che un'altra sostanza più mobile e agile di essa entri in movimento, appunto quale è quella che costituisce l'etere, e sia questa che metta in moto la materia stessa ponderabile. La prima parte della disgiuntiva non sarà di leggieri ammessa dagli avversari i quali credono questi effetti dovuti alla materia ordinaria con tutti i suoi attributi. E in realtà tale sentenza avrebbe in contro di sè il fatto che la materia trasportata ritiene la sua natura chimica: di più se essa si ammettesse, non sarebbe in realtà diversa dalla seconda ipotesi, perchè in tutta probabilità questa materia sottile o etere non in altro consiste che nella stessa materia commune ridotta al suo stato semplice ed atomico: quindi non resta che ricorrere a questa stessa materia sottile che per brevità chiamiamo etere.

Ma se anche i fatti de'trasporti violenti operati colla scarica elettrica non bastassero a definire la natura della sostanza in moto, essi però mettono in chiaro due grandi verità; 1.° che il flusso della corrente è definito dal polo positivo al negativo, 2.° che non è mestieri ammettere due correnti opposte, perchè tutti i fatti che sembrano favorevoli alla corrente negativa sono sempre spiegabili per l'espansione violenta che trovasi più energica alle estremità libere de' due corpi che si scaricano. Vanno però eccettuati que'casi nei quali all'atto della volatilizzazione accade una decomposizione chimica, perchè allora possono aversi trasporti ai poli opposti, come nelle decomposizioni dei liquidi.

La stessa diversa luminosità e temperatura de' poli nelle scariche discontinue suffraga queste conclusioni, perchè al polo positivo donde esce la corrente si ha maggior intensità di vibrazione e luce più viva, ma insieme la forza viva calorifica venendo assorbita dalla volatilizzazione esso si scalda meno, mentre all'incontro al polo negativo ove si accoglie la materia trasportata e in certo modo si con-

densa, cresce la temperatura ed è minore la luce, talchè le masse poste in moto sono in ragione inversa delle velocità (1).

A chiarire la natura del moto costitutivo della corrente nulla meglio poteva giovare che studiarlo nella sua origine e questo si è fatto diffusamente.

Questa (lasciate da parte per ora le azioni meccaniche e magnetiche) si riduce a due sorgenti principali, cioè l'azione chimica e la termica. Per la chimica si è veduto che non esiste nel circuito della pila altra potenza operatrice fuorchè quella che deriva dall' azione chimica interna, e che sotto qualunque aspetto ci si presentino i lavori esterni la loro somma non supera mai gli interni, nè la somma di ambedue supera mai quella che si avrebbe direttamente dalla mera azione chimica diretta de' materiali che generano la corrente. E che ove nel circuito oltre gli effetti chimici si mostrino effetti d'altra specie, come i meccanici e i calorifici, restituiti che siano questi ai loro valori per mezzo de' debiti coefficienti, l' equivalenza ha luogo a rigore. Talchè per l'azione di questo imponderabile la forza non si crea, nè si produce dal nulla, ma solo si trasforma da un modo di movimento ad un altro con equivalenza completa di forza viva: cioè il movimento moleculare chimico si trasforma in movimento termico o meccanico, precisamente come accade nelle fornaci mediante l' organo di una macchina a fuoco. Talchè la pila sotto questo rispetto entra nella teoria di questi ingegni che servono a trasformare la potenza e produrre un lavoro. Ma non essendo sempre facile il rintracciare tutti i lavori che essa eseguisce, spesso si trova mancare qualche quantità di calorico di cui non si sà dar ragione in che sia impiegato, tanto è lontano dal prodursi qui la forza *gratis*. Fra questi lavori che passano inosservati vi è sovente quello di dirigere diversamente da quel che sono i circuiti moleculari; e il freddo prodotto in certi casi dalle

(1) V. Stokes *Phil. trans.* 1862 pag. 619.

correnti mostra quanto si debba andar cauti a credere di aver trovato tutti i lavori che fa il moto dell' elettrico.

Ma in alcune combinazioni voltiane accade un fatto sommamente importante e capace a svelarci la natura della corrente. Questo è che l'azione chimica benchè incoata per l'affinità de' corpi messi a fronte e che tale si manifesta per la tensione che si desta nella pila , pure non può progredire ed avere il suo corso, se non si congiungono i due metalli eterogenei coll'arco conduttore. Anzi mercè di questo può regolarsi a piacere la sua quantità di azione fino a impedirla del tutto. Questo fatto porta necessariamente alla conseguenza che l' azione chimica per aver luogo in tali casi abbia bisogno del trasporto di qualche cosa attraverso il filo, onde se questo manchi non possa compiersi nè la scomposizione dell'antico corpo, nè la composizione del nuovo. E siccome si è veduto che ciò che attraversa il filo non è un mero movimento oscillatorio, ma ha tutti i caratteri di un fluido, quindi da ciò siamo condotti a concludere che quel che si trasporta è qualche sostanza. Or essa non è certamente la ponderabile, perchè la reazione di questa si fa tutta interamente nella parte del circuito che resta tra i reofori, come lo mostrano gli equivalenti chimici delle quantità decomposte; quindi resta per esclusione che sia un imponderabile. D'altra parte per effetto di queste chimiche azioni noi sappiamo che resta alterata la costituzione de'corpi, e che varia il loro grado di forza rifraugente, la conducibilità, la densità ecc. cioè tutte quelle proprietà che dietro i fenomeni ottici suppongono diversa proporzione nell'etere. Talchè ci è impossibile il concepire una novella combinazione chimica senza che vari la proporzione di questo costitutivo de'corpi. Quindi nulla di più ragionevole che ammettere che appunto pel filo conduttore passi questo stesso etere, il quale trovasi in esso in certo modo incanalato per formare la novella combinazione chimica. Così siamo condotti naturalmente ad ammettere che questo imponderabile

sia l'etere stesso luminoso che trovasi in tutti i corpi, ipotesi che vedremo confermata da altri fatti.

Questa maniera di ravvisare le cose è convalidata in modo assai concludente dalle azioni della corrente nata per semplice azione calorifica. L'applicazione di una causa termica ad un sistema di corpi eterogenei come produce una dilatazione e una agitazione della materia ponderabile, così necessariamente deve produrre nell'etere uno squilibrio ed una agitazione che si risolve in una vera dilatazione, donde ne nasce una circolazione in un verso o in un altro a norma che l' interna struttura del corpo lo permette, donde le correnti termelettriche. Questa dilatazione deve aver luogo anche nelle azioni chimiche, per l'agitazione che nasce nell'unione de' corpi di massa diversa che concorrono a formarne un terzo, e deve coadiuvare a spingere l'etere nella direzione che esige il nuovo stato di equilibrio stabilito nella combinazione novella. Le copiose correnti che tante deboli azioni d'ogni sorta possono mettere in moto ci fanno manifesto che non è la materia ponderabile quella che disgregandosi entra in moto in queste circostanze, ma un'altra materia più mobile. Così per esempio è impossibile concepire come la materia ponderabile possa esser messa in disgregazione da un semplice rovesciamento di un ferro o di una spirale avanti ad una calamita, come accade nell' induzione elettromagnetica, onde queste correnti devono esser moto di una materia già disgregata, ossia di un fluido che sta misto alla materia ponderabile.

La nozione pertanto la più precisa che possiamo formarci della genesi della corrente è questa. Ogni causa che turba la composizione moleculare dei corpi, tanto quando mescolati si combinano chimicamente, quanto per le azioni termiche e le meccaniche, o di altra specie qualunque, è capace di produrre uno squilibrio intestino dell'etere, sia per variazione di volume e di densità, sia per la copia diversa che deve costituire i corpi novelli. Così esso è co-

stretto ad una novella distribuzione e allora una porzione viene incanalato nel filo congiuntivo. L' etere così messo in giro partecipa necessariamente alla forza viva che lo spinge, e diviene esso stesso il traslatore di questa forza viva medesima, e con essa può operare contro gli ostacoli che incontra, sia agitandone le masse fino alla incandescenza o alla volatilizzazione, sia disgregandone le chimiche unioni, nel qual lavoro opera ordinariamente pel principio della dissociazione calorifica.

Così la forza viva eccitata in una sezione del circuito sia per via chimica, sia per azione termica o meccanica si trasmette ad un' altra sotto l' una o l' altra di queste medesime forme di moto, secondo le disposizioni preparate nel medesimo, e l'etere stesso diviene il veicolo di questa azione, appunto come nelle macchine caloriche ordinarie lo è il vapore, che può servire a riscaldare, muovere o fondere le materie secondo le preparazioni che trova prestabilite. Così la corrente elettrica entra nell' ordine degli agenti materiali che servono a trasformare le forze moleculari in potenza meccanica e svanisce quel principio di immaterialità nella sua maniera di operare che dà occasione a tante difficoltà.

In conclusione due sono le basi di questa azione, 1.° l'azione estrinseca che produce lo squilibrio, 2.° la disposizione interna che determina la direzione del flusso.

Parrà forse ad alcuni che noi *materializziamo* troppo questo agente, facendone una specie di fluido ordinario, mentre comunemente si reputa dotato di proprietà ben diverse, e da taluni si considera come *una forza*. A tale obbiezione rispondiamo che ove i fatti ci portino a ciò poco temiamo simili rimproveri. Se l'etere è materia perchè non sarà soggetto alle leggi meccaniche della materia? In quanto al volerlo una *forza* come altri dice, o si intende con questo un agente immateriale in stretto senso, e questo non potrebbe essere che, o una sostanza d'un ordine di cose fuori dell' materia, o una creazione dell' immaginazione. Per noi for

è causa di moto, e tale è (benchè non esclusivamente) ogni materia animata da movimento come più volte abbiamo ripetuto. In quanto poi alle proprietà singolari dell' etere che possono creare qualche difficoltà, non sono già quelle che si concludono dalle correnti, ma quelle che risultano dallo stato che esso ha ne'corpi isolanti. Per intenderne la differenza abbiam messo a rincontro le due classi di fenomeni ed eccone i risultati.

Tutti i corpi in ordine all' elettrico si dividono in due categorie, isolanti e conduttori, alla prima classe appartengono i corpi diafani o più generalmente quelli che polarizzano la luce rettilineamente: ai secondi i metalli o quelli che la polarizzano ellitticamente. Tale connessione non è accidentale. I primi danno luogo alle vibrazioni trasversali, e in cui è impedito il moto in senso longitudinale, ne'secondi invece questo ha luogo, ma resta intercettato il trasversale e sono opachi. Negli isolanti noi troviamo una ineguale mobilità nei varii sensi e la suscettibilità di costituirsi in essi direttamente in stato di pressione per le operazioni meccaniche e chimiche, mentre negli altri invece si ha ordinariamente la corrente. Le proprietà dell'etere concluse in una di queste specie di corpi non sono dunque dello stesso ordine di quelle che ci si svelano nell'altra. D'altronde non può negarsi che non sia lo stesso fluido quello che si dispone a *tensione*, e che poi trapassa a *corrente*, talchè deve concludersi che nè l'etere solo agisce ne'fenomeni a noi noti, nè la materia ponderabile sola, ma il loro complesso, e che perciò le due specie suddette de'corpi si diportano diversamente, e che negli isolanti e diafani l'etere ha una disposizione analoga a quella de' solidi, nei metalli invece almeno in una sua parte, ha quella dei fluidi. Nel vacuo assoluto esso conserva la proprietà de'diafani e sembra pure non godere di una egual libertà di moto per tutti i versi ed esser suscettibile di condensazione o dilatazione.

Questa proprietà combina con quanto si rileva dalla

teoria della luce, secondo la quale le vibrazioni trasversali mostrano nell'etere delle forze del medesimo genere di quelle che hanno luogo nei diafani omogenei, onde le sue vibrazioni tengono più delle proprietà de' solidi che de' fluidi. Non già perchè esista una coesione tra gli atomi dell'etere, ma perchè le rotazioni da cui essi sono animati possono impedire l'eguale diffusione del moto in tutti i versi (1).

Così dallo studio di due rami disparatissimi di fisica siamo condotti alla stessa conclusione sulla struttura dei corpi, cioè che oltre la materia ponderabile e sensibile esiste una materia sottile, ma che è distribuita diversamente in essi e che gode di diversa mobilità nelle due classi. È questa materia che abbiamo chiamata etere e che vibrando produce la luce e scorrendo le correnti.

Però si dirà che questa identità è una ipotesi e che non ripugna assolutamente il contrario. Questo è vero, potendo esservi un etere elettrico diverso dal luminoso, ma guardando il complesso de' fatti si trova che non è ragionevole ammettere questa distinzione.

Per una specie di favorevole destino, Ampére si occupava delle ricerche elettrodinamiche quando Fresnel faceva le sue mirabili scoperte di ottica, e ciascuno di questi due genì era arrivato da sua parte alla stessa conclusione che l'etere luminoso non poteva essere altro che l'elettrico (2). Solamente Ampére ossequendo ancora alla terminologia di Dufay diceva che esser dovea il risultato neutro de' due fluidi elettrici combinati. La ragione principale che lo persuadeva di ciò era vedere l'azione elettrica e la magnetica penetrare e propagarsi attraverso lo spazio vuoto

(1) Crediamo bene ripeter ciò perché quelli i quali hanno saputo trovare nei nostri scritti che noi facciamo portare in giro i pianeti dalle intelligenze, non dicano adesso che noi stabiliamo le sfere solide nello spazio.

(2) Ampére *Recueil ecc.* pag. 214.

ove non poteva supporsi esistenza di altro fluido che dell' etere luminoso. Anzi trovava ancor esso le proprietà ottiche dell' etere favorevoli alla propagazione del magnetismo, perchè quella specie di attrito con cui secondo Fresnel uno strato propaga il suo moto al suo contiguo, deve dar luogo a delle rotazioni che saranno capaci di produrre le azioni magnetiche. E queste particolarità, dice esso, *conduisent à admettre l'attraction entre les courants qui vont dans un même sens et la repulsion entre ceux qui sont dirigés en sens contraire* (1). Eppure allora non si conoscevano nè le azioni del magnetismo sulla luce, nè le correnti di induzione che gettano tanto lume su questa materia.

Noi abbiamo veduto che effettivamente l' etere luminoso esiste in tutti i corpi anche nei metallici come lo mostra la loro trasparenza quando sono sottili. Soltanto deve ammettersi che quando sono in masse compatte tal moto trasversale non si propaga più, non per mancanza dell'etere, ma per la costituzione moleculare che incontra la vibrazione. Infatti senza variare spessezza la foglia diventa opaca se è compressa e da opaca torna diafana se è riscaldata. I fenomeni della polarizzazione ellittica esercitata dai metalli tanto per riflessione che per trasmissione mostrano una certa scorrevolezza del mezzo, onde la riflessione si fa a un dipresso come in un mezzo fluido e mobile (come p. es. un sasso alla superficie dell'acqua) che permette una penetrazione parziale di una componente del raggio sotto certe obliquità che non ha luogo pei corpi vitrei. Conseguenza della quale mobilità sarebbe appunto l'annullamento del moto trasversale, il quale come dice Fresnel suppone che l'etere abbia una tenuissima compressibilità e sia *à peu près incompressible* (l. c.).

Questa mobilità entro i metalli non è una ipotesi è un fatto dimostrato, per ciò che spetta la materia ponde-

(1) Ampére *Recueil* pag. 215.

rabile, dalla conducibilità calorifica che non può negarsi dipendere da tale mobilità. Essi hanno inoltre la proprietà di ritenere la forma data loro forzatamente il che prova che le loro molecole ponderabili possono scorrere le une sulle altre senza cessare di sentire le mutue attrazioni, del qual fenomeno pure deve esser causa la mobilità dell'etere come vedremo meglio a suo luogo. Ma tale scorrevolezza propria delle masse pesanti, non solo deve aver luogo per l'etere che le circonda, ma per esso deve aver limiti assai più estesi, talchè le particelle del corpo si scarichino con gran facilità una sull'altra del loro eccesso quando una causa estrinseca ne aggiunge o ve ne toglie una porzione. Accadrebbe in essi (però senza spostamento di elementi ponderabili chimici) ciò che vediamo tuttodì nelle analisi fatte dalla pila, in cui un liquido dà corso all' elettrico per successive decomposizioni forzate dall'azione estranea. Quello che si può dire con certezza è che la qualità isolante o conduttrice dipende dall' aggregazione moleculare, e non dalla natura della sostanza, come vediamo nel carbonio, che isola in istato di diamante, e conduce come grafite.

L'etere è adunque in tutti i corpi e li pervade tutti, e tutto si riduce ad ammettere in esso diversa mobilità; ipotesi ben più semplice che non quella di ammettere un etere elettrico e un altro etere luminoso.

Ma anche ammesso tale etere elettrico diverso dal luminoso è vero che si schiverebbero alcune difficoltà, ma se ne incontrerebbero delle altre più gravi. Così bisognerebbe ammettere che quando un corpo per la sua combinazione con un altro diventa isolante (come il piombo colla silice) l'etere elettrico mobile nel metallo diventasse immobile nella combinazione isolante (nel vetro), ovvero dovremmo dire che ne esce per dar il posto all'etere luminoso. Tutte queste cose sono opinioni gratuite e non so nemmeno che siano mai state proposte sul serio da nessuno, perchè troppo assurde. Quando un metallo è ridotto

in istato puro da un suo sale, bisognerebbe che vi entrasse una novella dose di etere elettrico e ne nascerebbe certamente uno squilibrio nei corpi circostanti, onde dovrebbe esser possibile avere dell'elettricità negativa senza la positiva, . . . e via discorrendo, che sono tutte cose insussistenti.

L' ipotesi di un etere unico con diversa mobilità è dunque la più semplice che possa farsi, e se al momento in cui fu assunta essa poteva parere arbitraria, non lo è più dopo veduto il complesso de'fatti che serve a spiegare. Tuttavia non è da negare che qui consiste il cardine della questione e che farebbe un vero servizio alla scienza chi trovasse prove più dirette di questa identità, ovvero ne mostrasse positivamente la diversità. Ma non è presumibile che si possa arrivare a ciò se non quando siansi meglio intese le leggi del moto de'fluidi, e la struttura della materia.

Riconosciuta per tali fatti l'esistenza di un mezzo universale, non dovrebbe esservi difficoltà a prevedere gli effetti che potrebbe produrre quando scorre o trovasi comunque disequilibrato. Ma è tanta l'imperfezione delle teorie idrodinamiche, che è impossibile tentare di scoprire fenomeni per questa via, onde Ampère preferì di prendere fatti sperimentali come base del calcolo e non più. E noi stessi, malgrado la scorta de'fatti scoperti dopo di lui, siamo ancora costretti a proseguire l'interpretazione de'fatti conosciuti per via di analogie e di comparazioni coi fenomeni che ci presentano i fluidi ordinari.

A questo modo non è difficile riconoscere una somiglianza di ciò che accade nei conduttori dell' elettrico cogli effetti de' fluidi in moto. Un primo esempio si è veduto nel suo modo di propagazione nei fili telegrafici di grande lunghezza, ove lo stato iniziale imita perfettamente ciò che accader deve nei fluidi, formandosi una fronte della corrente, e generandosi delle vere ondate secondo le aperture e chiusure del circuito. Un altro esempio si è avuto

nell' altro fenomeno caratteristico de' fluidi, cioè dell' urto che esercita la forza viva della massa scorrente ne'tubi che dà origine al colpo di ariete. In questo caso abbiamo un riscontro prezioso tra i due fenomeni complementari, cioè la pressione e la corrente, perchè come nei fluidi ordinarii la corrente intercettata dà luogo a una pressione che sfianca i tubi, così qui abbiamo una tensione statica all'arrestarsi della corrente elettrica. In terzo luogo finalmente si ha nella induzione elettrodinamica un caso de'fenomeni scoperti dal Venturi, sulla diminuzione di pressione dei fluidi scorrenti e della communicazione di moto laterale, perchè ogni volta che si stabilisce una corrente, scemando nel conduttore la pressione, questa obbliga a un nuovo equilibrio l'etere circostante e quindi dà luogo a delle correnti passaggere.

Questi fatti finiscono di provare la materialità dell' etere, e la semplicità con cui discendono dai principii meccanici tolgono ogni necessità di ricorrere alle teorie delle polarizzazioni e delle azioni trasversali o a forze astratte create espressamente per ispiegarli. Noi però non ci illudiamo a segno di credere che sia facile ed ovvia *in ogni caso particolare* l'applicazione di questi principii, ma diciamo che almeno la difficoltà non è di ordine diverso da quella che bene spesso si incontra nelle loro applicazioni ai fluidi pesanti. Riescono così inutili i tanti fluidi ammessi pel passato, calorifico, luminoso, elettrico positivo, elettrico negativo, magnetico australe, magnetico boreale, ecc. perchè tutti gli effetti attribuiti ad essi possono ridursi al movimento di un solo, cioè dell' etere.

Al che non ci sconforta il vedere la ripugnanza di illustri fisici ad ammettere questo mezzo, perchè (bisogna pur confessarlo candidamente) anche nella scienza ogni età ha la sua moda, e tale renitenza nell'epoca nostra ad ammettere una sola sostanza sottile contrasta stranamente colla corrività che si avea tempo fa ad ammetterne tante in numero. Del resto se avesse la quistione da risolversi per au-

torità non mancano scienziati che lo credono indispensabile e che sono almeno tanto illustri quanto i contrari (1). Che oltre i suddetti effetti se ne possano col tempo spiegare anche degli altri, non recherà maraviglia, perchè da un agente così diffuso come questo è ben ragionevole aspettarli quando *preme*, e quando *scorre.* Tra questi era di sommo interesse vedere se potevano ridursi alla sua azione i moti che si esercitano a distanza tra i corpi in cui esso fluido è condensato o rarefatto, e quelli in cui scorre; in altri termini vedere se, e in qual modo, per suo mezzo si possano spiegare le attrazioni e ripulsioni elettrostatiche ed elettrodinamiche.

Si è veduto che per le prime la prova indiretta parla assai chiaro, perchè queste attrazioni e ripulsioni esercitandosi solo quando sussiste nei corpi quello stato che equivale alla pressione, e che i fenomeni d'induzione ci mostrano essere un vero accumulamento o una diradazione di tal fluido, ne segue che questa e non altra è la causa di tali movimenti. Onde sullo stabilire il principio che dalla pressione derivi l'attrazione non può aver luogo alcuna difficoltà, ma solo sul modo di intendere come una pressione possa dar origine a tali moti attraverso i mezzi isolanti e lo spazio vacuo.

In quanto agl'isolanti la difficoltà non è grande, conoscendosi dai fenomeni luminosi e da quelli dell'elettrico stesso che il moto dell'etere in questi corpi è impedito, onde possono aver luogo nel loro interno delle differenze di tensione e di densità, come han luogo nei solidi ordinari quando sono soggetti a pressioni estrinseche meccani-

(1) Oltre i noti tentativi di Lamè, Cauchy, e Verdet, per l'ottica, possono vedersi quelli di Maxwell per congiungervi il magnetismo colla teoria de' vorticetti: soltanto questo autore sembra complicare inutilmente l'ipotesi, coll'ammettere certe cellule formate dal fluido elettrico.

che, dalle quali hanno origine i fenomeni di induzione molecolare attraverso di essi.

Le attrazioni nei mezzi isolanti sarebbero una mera conseguenza del tendere queste pressioni all' equilibrio, strascinando per ciò seco la materia ponderabile. Ma la difficoltà principale trovasi pel vacuo, ossia per l'etere libero nel quale sembra che tal ragione non possa valere: però vedemmo che quì la difficoltà non esiste in natura, ma si crea dai teorici, quando vogliono applicare all'etere le proprietà degli altri fluidi, cioè l' eguale comunicazione dell' urto per tutti i versi. Anche in questo caso i fenomeni ottici ci vengono in soccorso e ci mostrano che nell'etere libero i movimenti non si possono propagare con egual facilità in tutte le direzioni e che vi sono certe forze da cui esso è animato, che obbligano le oscillazioni ad esser trasversali. Questo solo fatto basta a far capire che non si può applicare all'etere la teoria degli altri fluidi, che suppone l'eguaglianza perfetta di comunicazione della pressione per tutti i versi. Non è quindi impossibile che nell'etere libero possa sussistere una differenza di densità da strato a strato come nei corpi diafani. Noi siamo nella più completa ignoranza della natura di tali forze, ma la loro esistenza è tanto certa quanto quelle delle vibrazioni trasversali nelle radiazioni, e le possiamo perciò ammettere come un fatto. Abbiamo avvertito che non è punto necessario ammettere una coesione nell'etere, ma basta una semplice diversa facilità del moto de'suoi atomi piuttosto in un senso che in un altro. Di questa facilità noi ne abbiamo congetturata la origine nei moti rotatorii degli atomi eterei: ma non pretendiamo averne trovato con ciò il secreto.

Si conosce pertanto da ciò che la struttura dell'etere quale ci è rivelata dai fenomeni elettrici e luminosi può esser di chiave anche a intendere le attrazioni, di qualunque specie esse sieno, senza ammettere per ciò forze astratte ope-

ranti a distanza, ne'enti ideali, o l'azione *diretta* della Divinità medesima per tal uopo, come fecero taluni.

Ammesso infatti che nell' etere libero possa sussistere ineguaglianza di densità di strati per la difficoltà che esso trova a comunicare in tutti i versi la sua pressione, ne nasce che i corpi carichi o deficienti di etere costituiscono attorno alla loro superficie uno stato di equilibrio forzato che sussisterà finchè non trovi modo di mettersi nello stato normale, ma che potrà ridursi a questo mediante il moto e il trasporto meccanico dei corpi stessi ponderabili. Questi quando siano sufficientemente mobili saranno trascinati l' uno verso l' altro e si avranno le attrazioni e le ripulsioni. Potrà ancora in molti casi la sua forza espansiva riuscire a staccare le parti de' corpi e disgregarle.

L'altra classe de'moti a distanza che dipende pure dall'azione di questo mezzo è quella degli elettrodinamici e magnetici. Questi si è veduto che ricever possono la loro spiegazione dal principio della diminuzione di pressione dell' etere nei conduttori in cui circola la corrente, combinato colla composizione dell' urto reciproco degli atomi circostanti ai conduttori. Questi atomi nella vicinanza di un conduttore per la comunicazione del moto laterale necessariamente assumono moti vorticosi e rotatorii, la cui composizione dà la spiegazione naturale delle forze magnetiche e delle azioni reciproche delle correnti.

Se è così la forza magnetica non può esser più una forza speciale, ma diviene una forza universale, e le sue azioni si compenetrano con quelle dell'etere che trovasi in tutti i corpi. Quindi i singolari effetti che per mezzo del magnetismo si hanno su tutte le sostanze, ma di diverso nome, secondo la direzione delle rotazioni che divengono predominanti sotto l'azione della calamita. Da queste ne nascono dei moti opposti, secondo che i vortici molecolari sono orientabili o no, ossia secondo che i corpi sono magnetici, o diamagnetici. Il vortice magnetico è reso sensibile nei corpi in

moto con effetti di notabili resistenze e con sviluppo di correnti elettriche e di calore, come accade nel moto dei fluidi ordinari. La corrente elettrica è anche quì il mezzo con cui la forza meccanica si trasforma in calore nei corpi rotanti tra i poli di una calamita , e nelle macchine magnetelettriche. Questa è l'operazione reciproca di quella che accade quando una variazione di temperatura produce una corrente che può muovere un congegno meccanico.

Così tutte queste azioni dal moto cominciano e nel moto si risolvono, e la sola differenza tra questi moti e i comuni si è, che negli uni entra in giuoco un fluido sensibile e ponderabile, e negli altri un fluido che si sottrae all'azione dei nostri sensi, perchè penetrando esso tutti i corpi è nella massima parte de' casi incoercibile.

Però una certa coercibilità si manifesta in alcuni casi, e allora tradisce per dir così la sua natura, e producendo effetti simili a quella forza che *tira i pesi* ci rivela perchè sia imponderabile, vale a dire che è appunto tale perchè esso stesso può produrre effetti di movimenti a distanza simili a quelli che produce la gravità stessa.

Ciò ci invita a sospettare che questa misteriosa forza sia una conseguenza della distribuzione di questo stesso fluido nello spazio : la quale ipotesi quanto sia probabile è cosa degna di esser esaminata, e ciò faremo dopo di aver studiato più addentro la costituzione della materia.

CAPO IV.

COSTITUZIONE DELLA MATERIA

§. 1.

Introduzione. Altre forze che governano la materia. Azioni organiche.

Nell' apporre questo titolo al capo presente nessuno creda che noi pretendiamo svelare il mistero della materia: lo scopo principale è di fare qui una ricapitolazione del detto nei capi precedenti, e una applicazione delle teorie già stabilite alla spiegazione di altri fenomeni che vi si possono rivocare. Noi non pretendiamo spiegar tutta la natura, ma desideriamo di spingere più oltre che sia possibile la nostra induzione. Se questa verrà meno in queste ultime applicazioni, tal difetto non potrà distruggere ciò che è stato stabilito e per dir così conquistato. La difficoltà và crescendo a mano a mano che ci interniamo nel soggetto, e in ciò che siamo per esaminare si trova moltiplicata. Perchè le forze studiate finora ci presentavano fenomeni che avevano per origine un moto, e si risolvevano in fine in altro moto sensibile, onde non fu difficile argomentare l'indole della causa, benchè restasse problematico il suo modo di agire. Ma in quelle che passiamo a discutere, gli effetti o hanno luogo senza che noi possiamo dominarne le cause e alterarle a nostro piacere, come per esempio la gravità: ovvero consistono in mutare le proprietà de' corpi come fanno le azioni chimiche, nelle quali dobbiamo sciogliere un doppio problema, cioè prima concepire lo stato anteriore, indi dar ragione del cambiamento avvenuto: onde qui non solo dobbiamo talora fare ipotesi sul mezzo di azione, ma anche sullo stato dei termini. Così si corre rischio che divenga inutile il filo che deve servir

di guida nello studio della natura, cioè i fatti, perchè questi possono concepirsi in più modi, e non è facile cogliere il vero.

Quindi è che ad onta de' nostri sforzi non tutti i punti qui potranno esser trattati con completa soddisfazione nostra e de'lettori, attesa l'arduità della materia che trattiamo. E crediamo di dovere avvertire ciò, onde nessuno ci accusi di voler spingere troppo avanti le conclusioni, quasi volessimo sentenziare come certo ciò che è appena probabile; e sotto tale riserva entreremo in materia.

Ma prima vogliamo avvertire che noi non intendiamo di parlare che della materia inorganica e quindi non entreremo a trattare di quelle altre operazioni in cui ha luogo la vita vegetale e molto meno di quelle in cui un'altra sostanza viene associata alla materia e ne dirige le operazioni per modo da riuscire ad effetti totalmenti diversi da quelli che seguirebbero dalle sole leggi della materia bruta lasciata a sè stessa. Questi sono fenomeni di altro ordine che non è nostro scopo discutere. Tuttavia anche negli esseri in cui tali effetti hanno luogo vi è da considerare la parte che spetta alle forze di cui parliamo. Tali sono principalmente il calore, senza cui non si sviluppano nè possono vivere, la luce che se non è indispensabile per alcuni al loro accrescimento, lo è però alla loro prosperità, e l'elettrico che o come conseguenza delle azioni chimiche o per azione fisiologica è messo in moto nell'organismo.

Gli esseri organici possono considerarsi nelle loro funzioni materiali di reazioni chimiche e di movimento da essi prodotto, e così entrano nel dominio delle forze fisiche, e sempre sussiste anche in essi il principio che il moto e la forza non può crearsi dal nulla, ma occorre una causa primitiva che loro la somministri. Noi abbiamo veduto che il *lavoro* vegetale nelle piante è principalmente opera delle radiazioni solari, le quali per mera azione meccanica hanno la potenza di preparare i composti organici

e che in tal atto la forza viva de'raggi solari resta estinta (1). L'effetto dei moti vibratorii in questo lavoro si può paragonare in certo modo a quello che accade ad una massa di polveri ammonticchiate su di un piccolo spazio di una lastra vibrante, che eccitata questa a vibrazione per que' tremiti e movimenti riesce a distribuirsi su tutta la superficie in figure regolari e uniformemente. Negli animali il principio della loro forza meccanica è la combustione interna del cibo, e dalla forza viva generata in tale sintesi essi traggono la potenza motrice necessaria a conservare la circolazione interna de' fluidi che entrano nel loro organismo, come pure quella che possono impiegare esteriormente a muovere altri corpi. All' atto delle azioni vi è in essi trasformazione del calore in potenza meccanica (2), e in quelli cui la Provvidenza ha dato per arme l'elettrico, colle troppe successive scariche avviene una spossatezza e un indebolimento, donde restano sconcertate le loro operazioni digestive.

Ma oltre questo elemento primo della loro energia, in tutti questi esseri deve contemplarsi un' azione speciale visibilmente connessa con certa disposizione molecolare, la quale stabilita una volta, quell'azione continua ad agire finchè ha materiali idonei ad elaborare, e finchè dura quella disposizione in istato perfetto. Questa tale disposizione originale noi indichiamo colla parola *organismo.*

L' organismo include per primo principio una disposizione particolare che renda i pezzi che compongono quell'aggregato atti ad ottenere un effetto, e questa disposizione non può nascere spontaneamente nella materia bruta, essa sta in quello che diciamo *germe*. Per maggior chiarezza prendiamo il paragone dalle macchine ordinarie. Non basta a

(1) C. II. §. 6. pag. 174.
(2) V. sopra C. I. §. 4. pag. 23.

modo di esempio, per fare una macchina a vapore metter assieme ferro, carbone, acqua ecc. ma bisogna distribuire questi elementi uno subordinatamente all' altro, il che in termine filosofico non sapremmo esprimer meglio che col dire che bisogna *dargli la forma*. Questa forma non è niente di sostanziale, essa non consiste che nella opportuna disposizione delle parti, ma senza questa la macchina non esiste, e queste parti non possono nè costituirsi in tubi e ruote, nè mettersi in atto in tale o tal altro modo da sè stesse, ma si esige per ciò un *macchinista*, cioè un' agente estrinseco dotato di facoltà superiori a quelle della materia e capace di conoscere i rapporti astratti delle quantità che s' impiegano: in una parola un *essere intelligente*. Una volta però data la *forma* a questi pezzi, le forze fisiche entrando in azione potranno produrre effetti che altrimenti non avrebbero mai fatto: la gravità potrà anche operare contro sè stessa, il calore applicato a un capo del sistema potrà produrre diminuzione di temperatura in un altro, e via discorrendo.

Così accade nell'organismo: l'unione di ossigene, idrogeno e carbonio comunque misti non farà mai una molecola vegetale vivente, fossero pure anche in proporzione determinate. Si potranno formare colla semplice azione della materia inorganica per iustaposizione di varii elementi in determinate proporzioni dei prodotti identici a quelli che si elaborano nei tessuti vegetali, ma il tessuto stesso e l'organizzazione non si produce: la generazione spontanea per le pure forze della materia bruta è una assurdità, e nessun fatto serve ad essa finora nemmeno di fondamento remoto: anche la trasformazione delle specie per cui potrebbe un organismo fondersi in un altro, non è meno assurda che il mutarsi di un orologio da sè in una macchina a vapore (1).

(1) Veggasi su di ciò la recente opera di Flourens contro Darwin annunziata nei *Comptes Rendus* 14 Marzo 1864.

Nè ciò solo ha luogo per gli esseri più perfetti, ma anche in quelle operazioni misteriose che parevano eccedere i limiti delle forze fisiche come le fermentazioni e le putrefazioni. Queste è ora dimostrato che sono dovute allo sviluppo di piante o di animali di minime dimensioni, che noi diciamo imperfetti, ma che nella loro costituzione sono a noi egualmente inaccessibili quanto quelli che sono alla sommità della scala degli esseri. Per produrre l'organizzazione si esige l'opera intelligente dell'Eterno Macchinista il cui lavoro e la cui *Arte* con termine convenzionale per brevità chiamiamo *Natura*. E tale intervento è tanto necessario qui per la forma, quanto lo fu nella materia bruta per dargli l' *Essere* e con questo il primo *Moto*. L' escluder questa azione sotto qualunqne pretesto è un chiudersi la strada all' intelligenza de' fenomeni i più manifesti. Ma posta una tale azione prima, le forze fisiche e chimiche ordinarie sono messe in opera e servono alla conservazione dell'essere, al suo aumento e alla riproduzione. L'ente organico percorre, perciò che spetta questa parte, una serie di fasi che possiamo in certo modo paragonare, per quanto le nostre losche viste lo permettono, a quelle macchine che montate una volta con una molla o con una pila elettrica, fanno certa serie di movimenti finchè la molla sia scarica, o la pila esaurita.

Non si devono spingere le cose all'eccesso per nessun verso, nè negare alle forze fisiche le attività che hanno, nè supporre in esse quelle che non hanno. Veduti in confuso certi fenomeni della materia paiono supporre l' esistenza di un principio diverso da essa e un' altra sostanza : così un anima dissero gli antichi avere l'ambra stropicciata e la calamita; ma analizzate e vedute in relazione col resto, queste forze si sono risolute in semplice moto di materia. Lo stesso deve dirsi della forza vegetale che risulta da un determinato organismo. Ma questo e tutte le forze che in esso agiscono, non potranno mai dar ragione del

principio senziente e molto meno dell' intelligente che si trovi ad esso associato.

Così lo studio delle forze fisiche conduce a riconoscere necessaria l'azione immediata di un Essere Superiore alla materia, e la straordinanza potenza che si attribuisce da certi filosofi all' organismo e col quale vorrebbero perfino spiegare le operazioni dell' intelligenza, si risolve in una vera assurdità.

L' uomo non può paragonare la sua arte a quella del suo Autore, perchè non è posto a sua disposizione che il mezzo grossolano della materia ponderabile, e la forma comune de' suoi ordigni si riduce per lo più alla leva o alla fune. Se qualche altro agente come il moto moleculare calorifico, o il moto etereo è messo da esso in attività ciò è sempre coll' intermedio di masse ingombranti, ma con ciò pure non cessa talora di destare la più sublime meraviglia. I movimenti moleculari diretti sono affatto fuori della nostra portata. Anzi noi non ne comprendiamo a dir vero nemmeno adequatamente il meccanismo. Parliamo di vortici moleculari perchè questa è l' idea più semplice che conosciamo nei fluidi, ma quando siamo al complesso delle molecole i moti e la struttura di ognuna di esse possono essere tanto complicati quanto nelle nostre macchine più ingegnose. Guardando agli effetti che si producono o cessano al solo variare di una temperatura, che arrivata a certo grado basta a distruggere ogni organismo o almeno i più elevati tra di loro, si vede che una grande complicazione interna di moti deve esistere in questi aggregati.

I più semplici tra i corpi organici sono i vegetali — L' organo che serve di base al loro sviluppo è la cellula cui noi vediamo riprodursi da una sua consimile e moltiplicarsi e disporsi una dopo l' altra in modo da fare altri organi. L'azione vegeta le è destata dal calore congiunto agli elementi minerali, all' umidità, alla luce ecc. Noi vediamo che per mancanza di uno di questi elementi il *germe* può

restar inerte per secoli e secoli, come i grani trovati nelle tombe egizie, e poi ripigliare il suo corso, a differenza dell' animale che non può sospendere tutte le sue funzioni senza perire. Mancando quegli agenti la pianta non vegeta o non fruttifica: le azioni chimiche che in essa si concepiscono sotto l' azione della luce e del calore possono da noi imitarsi ne'nostri laboratorii e ottenersi artificialmente, ma il *modo* non si può imitare. Salvo questo noi nulla troviamo nei vegetali che ecceda i limiti della chimica o della fisica. Talchè la disposizione organica congiunta al movimento in certa forma diretto, sembrano essere sufficienti a spiegare i fenomeni che costituiscono la vita vegetale. Gli antichi avezzi a sostanziare tutto, attribuirono queste azioni ad un *anima vegetante*, ma esse possono essere il risultato semplice della disposizione delle parti congiunte colle forze fisiche (1). Certamente l' intendere tutti i movimenti e l'aggregazione che costituisce un vegetale è cosa affatto a noi inaccessibile, ma altro è capire il come accada un effetto, altro è fissare quale possa essere la natura del principio operatore.

Ma a differenza de'vegetali esiste negli animali un principio di ordine superiore alla materia, che ne governa le azioni. Le forze fisiche gli somministrano l'elemento primo, cioè il moto che viene adoperato in tutte quelle azioni che sono proprie meramente dell' organismo subordinatamente alla sua influenza, per modificare quelli effetti immediati che produrrebbero le stesse forze fisiche se fossero sole, e mantenere una specie di movimenti di ordine superiore e ben più complessi e delicati che quelli de' vegetali. Lo stesso principio pure è quello che determina a preferenza una quan-

(1) Veggasi a questo proposito l'eccellente articolo sulla *Nutrizione* nel *Trattato di chimica* del prof. Purgotti 3ª Edizione Perugia (pag. 18 e seg. dell'estratto tirato a parte).

tità di moto a spostare l' una o l'altra parte del suo corpo o degli oggetti esterni, servendosi sempre come elemento del moto generale della materia. Benchè negli infimi gradi della loro serie sia difficile lo stabilire ove i lor moti siano automatici o autonomici, e dove essi si differenzino dai vegetali (come in molti animali marini ed infusorii) tuttavia nella classe più elevata non può cader dubbio. In una parola: negli animali il moto in cui consistono le forze fisiche fa per dir così l'uffizio di strumento o di mezzo all' altro principio superiore ed è da esso diretto secondo che richiede lo scopo da ottenere. Per usare una similitudine molto inadequata, ma pure la meno inopportuna, possiam dire, che come una locomotiva, sia pure perfetta quanto si vuole, non potrà mai da sè decidersi a mettersi regolarmente in moto, se il macchinista non apre la chiave e se non dirige il *tiratore* in modo che vada piuttosto avanti che indietro ecc.; così non solo vi è in questa classe di esseri un organismo e quel moto che accompagna inseparabilmente ogni materia bruta, ma esiste un altro principio dirigente che è superiore alla pura materia. La vita può dirsi propriamente che dal suo lato materiale consiste in un movimento di parti fluide connesso colla proprietà di aumentare e rinnovare gli organi stessi in cui circolano. Cessando questo moto l'essere *muore*.

Quando sopravviene la *morte* a un essere organico, o per lesione meccanica di una parte importante alla circolazione, o per ingorgo de' vasi, le forze fisiche restano libere ad agire sulla materia; e anche quando l'organizzazione non viene distrutta per violenza di azione estrinseca come col fuoco, le dilatazioni ineguali del calorico non più mantenuto costante per l'azione della vita sconcertano l'aggregazione delle parti ; l' umidità esterna col pervadere i tessuti non più impedita dalla circolazione organica , le altera introducendo nuovi elementi, e così comincia il lento lavoro di distruzione.

Più communemente però l'organizzazione è sciolta mediante esseri organici di ordine inferiore che si svolgono a danno del soggetto principale e nutrendosi della sua sostanza. Così le mucedinee che sviluppansi sugli alberi morti, e i vibrioni e gli altri infusori infinitesimali che determinano ciò che noi chiamiamo putrefazione, sono gli agenti che servono comunemente a ricondurre la materia organica allo stato inorganico. Ove queste azioni si impediscano la forma organica non si distrugge, onde si vede esser falso che la materia per sussistere in queste forme debba avere forze particolari, solo v'è bisogno di una azione primitiva che diriga le sue forze a quel tale risultato di azione a cui é destinato l'organismo, ma la disposizione materiale fatta una volta può sussistere anche cessata la vita (1).

Il vegetale nella grande opera della creazione sembra destinato alla trasformazione della materia inorganica nell'organizzata per servire poscia all'animale, che non si *nutre* o non assimila a se che l' organizzata, tanto vegetale che animale; ed anche deve guastare quelle combinazioni che fatte dall'animale renderebbero l'atmosfera incapace di conservare indefinitamente la sua composizione. Così un mirabile equilibrio regna nell'Universo e la vita di un ordine di creature coopera alla vita di un altro.

Esistenza, moto, vita vegetale, sensazione, intelligenza, ecco i cinque grandi stadii che formano la creazione tutta.

(1) Sui fermenti vegetali e animali che sono la causa delle così dette *forze putride* o di dissoluzione, veggasi Pasteur C. R. 29 Giugno tom. LVI 1863. I fermenti che possono dirsi vegetali *monas bacterium ecc.* vivono nell'ossigene e producono l'ac. carbonico, i fermenti animali *vibrio* ecc. si conservano nell' acido carbonico, talchè qui succede quello che in grande si ha tra vegetali e animali, ma a rovescio. *Gli estremi si toccano* (V. pagina 1191.) Aggiungansi i *mucores*, e le *mucedinee* che anche esse sono veri vegetali. La differenza tra le putrefazioni e la cancrena è che questa in certo modo è una vita meramente chimica (pag. 1194).

L'Autore supremo coll'atto stesso con cui diede l' esistenza alla materia bruta gli communicò anche un principio di attivà consistente in un moto indestruttibile. Ma in altri complessi determinò il moto dietro una disposizione particolare, subordinata però alle mere forze fisiche: in altri volle concorresse un altro principio superiore alla materia che ne regolasse le operazioni: finalmente nel più alto di tutti gli esseri posti su questa terra aggiunse il lume della ragione, che dà all'uomo solo la capacità di conoscere sè stesso, il suo autore, le sue opere, le relazioni generiche delle cose, e fino a certo punto permette l' imitazione dell'arte divina.

A tutte queste azioni è base o istrumento la materia colle sue varie modificazioni provenienti dal moto, e di queste sole noi intendiamo parlare.

§. 2.

Struttura de' corpi. Impenetrabilità, porosità, divisibilità. Teoria dell'atomismo.

L'analisi delle forze fatta nei precedenti capitoli ci ha condotto alle seguenti conseguenze.

1.° La materia sta in un movimento continuo che ci si manifesta sotto la forma di calorico: per l' inerzia e per l'impulso le molecole ci si mostrano dotate di una potenza che noi chiamiamo repulsiva e disgregante che è tanto più attiva quanto più sono isolate e assottigliate le masse.

2.° Oltre la materia palpabile e sensibile, esiste certamente nello spazio e in tutti i corpi disseminata una sostanza sottile che sfugge ai nostri sensi direttamente, ma i cui effetti ci sono perfettamente percettibili per le modificazioni che imprime alla materia ponderabile, e che ci si svela specialmente sotto la forma di moto che chiamia-

mo radiazioni. La sua materialità ed inerzia è provata dallo scambio di moto colla materia pesante.

3.° Finalmente rileviamo che nei corpi ponderabili si manifesta un'altra specie di moto interno di una materia sottilissima, che ora scorre a guisa di un fluido, ora esercita pressioni alla lor superficie, e talora li agita fino a disgregarli. Questa materia che è similmente per noi incoercibile, concorre a costituire tutti i corpi, e l'abbiamo riconosciuta identica all'etere stesso. Abbiam dimostrato non esservi ragione da ammettere due specie di sostanza sottile, e fondati sull'opposizione de' fenomeni ottici ed elettrici tra corpi diafani e isolanti, tra opachi e conduttori, risultò che non è diversità di natura, ma di mera aggregazione, che fa che il moto si possa propagare longitudinalmente negli uni e trasversalmente negli altri. Si è veduto che li squilibrii di questo fluido possono produrre quei moti nella materia pesante, che formano le attrazioni e le ripulsioni elettriche.

Questi fatti ci portano ad esaminare se i principii stabiliti per la spiegazione dei precedenti fenomeni possano applicarsi a quelle altre forze che governano la materia, come sono la coesione de' corpi, l'affinità chimica e la gravitazione. Qualche cosa quà e colà si è detto nel decorso dell' opera, proponendola come congettura, ora cercheremo di compiere queste discussioni e vedere quanto siano probabili. Ma prima dobbiamo esaminare un punto importante, vale a dire, se l' ipotesi che abbiamo tacitamente ammessa dell'esser la materia composta di particole discontinue, sia giusta o no, e qual fondamento essa abbia in natura.

I corpi ci si presentano nel loro carattere più generico come un complesso di *forze*. Una forza generale di resistenza, e d'impenetrabilità è la prima e la più fondamentale: questa ci si rende sensibile in ogni cambiamento di stato, sia da moto a quiete sia viceversa il che costituisce l'*inerzia*. Questa forza operante in una *estensione* è propriamente ciò che costituisce il *corpo*. Il fisico ammette

i corpi come una realtà estrinseca e ammette pure come un fatto la trasmissione del moto da uno all'altro di essi per contatto , e non si occupa di spiegarlo, ma di ridurre gli altri fatti a questo. Ei lascia al metafisico disputare sui temi posti al di là di questo limite.

Ma l'estensione sensibilmente occupata dal corpo non è realmente tutta *riempita* da ciò che lo forma , e che diciamo materia, e la cui quantità misuriamo coll' inerzia, cioè la *massa*. Il senso armato anche di scarsi mezzi vi scorge in molti casi delle grandi lacune e il raziocinio dimostra dovervi essere grandi vacuità, denominate *pori*. Quindi i corpi realmente ci si presentano sotto aspetto discontinuo, anche quando sembrano formare un continuo apparente. I fenomeni del calorico consistendo come fu provato in semplice movimento moleculare, mostrano anche da sè soli tale discontinuità, senza la quale non vi potrebbe esser movimento di parti. Ma questi pori e queste stesse parti sono tenuissime e sfuggono i nostri sensi. Le onde luminose, la cui media lunghezza è poco più di un mezzo millesimo di millimetro, sono immensamente più estese che non sono le dimensioni di queste parti infime della materia che ci sono affatto inaccessibili. In certe diatomee circolari su di un diametro eguale alla lunghezza dell'onda rossa, possono contarsi più di cento cellule e ciascuna è fatta a scaglioni e composta di parti capaci di ricevere un organismo interno, *composto esso stesso di molecole di diverse sostanze.* Altri vegetali e infusorii microscopici hanno lunghezza minore essi stessi di un' onda , e pure sono capaci di ammettere in sì piccolo spazio tutti gli organi necessarii alla nutrizione e alle altre funzioni vitali !

Ciò dimostra l'impossibilità di poter mai arrivare a determinare le dimensioni delle infime parti della materia. Noi siamo fra due infiniti uno degli spazi planetari, l' altro della struttura moleculare. L'induzione la più estesa ci mostra che tutti i corpi sono ordinati a sistemi , e come

nel campo del telescopio di un astronomo si presenta una *nebulosa* composta di stelle, e le stelle come il sole son circondate da pianeti, i pianeti dai satelliti; così ci si presentauo nel microscopio le molecole dei corpi come formate di aggregati e sistemi di ordini successivamente più complicati, benchè non sia la stessa in questi la proporzione tra i volumi e le distanze che ha luogo negli spazi planetari. Soltanto la separazione qui è impossibile farla per mezzo ottico, ed è mera deduzione logica. La gradazione stessa che esiste tra i corpi solidi, liquidi e aeriformi, ci fa vedere quanto più composti siano i sistemi de' solidi che quelli de' liquidi, e questi ancora più di quelli de' gas, che pure arrivano a tale attenuazione senza cambiare natura chimica. Ma se si aggiunge anche questa ultima disgregazione, vedremo a che estremo di inimaginabile tenuità saremo condotti. Quindi non è meraviglia che la materia si concepisca da taluni come costituita di tanti sistemi di particelle successivamente più semplici, ossia che essa consista in fluidi successivamente più attenuati, senza che si stabilisca un termine almeno empirico a tale attenuazione.

Tuttavia la ragione indica che un termine vi deve essere, perchè non può procedersi all' infinito, e la continuità della materia se è facile asserirla, è però inconciliabile coi fenomeni del moto, e quindi, qualunque siasi l' ultimo termine di sua attenuazione, essa deve esser composta di volumi discontinui. Lo studio de' fenomeni della luce e dell'elettrico ci ha portato a riconoscere che molto probabilmente l'etere non è che la materia stessa ridotta a questo stato supremo di attenuazione e sottigliezza elementare detta atomica, onde ne risulterebbe che tutti gli altri corpi sono realmente aggregati di questi stessi atomi che costituiscono quel fluido.

Ma questa non è altro che una ipotesi, e nulla impedisce che vi siano realmente due o più specie di atomi primitivi di cui l'una costituisce l'etere, l'altra forma i corpi

pesanti. Qualunque sia l' opinione che vogliasi abbracciare in questo proposito la costituzione immediata de'corpi sarebbe sempre formata da molecole distinte. Questa sentenza per quanto sia ragionevole e discenda da tutti i fatti che abbiamo esaminato, pure non manca di essere combattuta, quindi è necessario vedere quanto sia d'accordo coll'osservazione. La decisione non potendosi fare nè coi mezzi ottici, nè coi meccanici, è riservata esclusivamente alla induzione che ha per base i fenomeni chimici.

Le leggi ben note delle *proporzioni determinate* con cui si combinano sempre tutti i corpi eterogenei, persuasero, almeno praticamente, i chimici che la materia era composta di corpuscoli di distinto volume e peso che univansi in numero molto semplice e assai ristretto, specialmente nelle combinazioni minerali inorganiche. Questi corpuscoli da essi si chiamarono atomi, ma più per brevità di linguaggio che per altro, ammettendo talora la suddivisione loro come possibile, e impiegando lo stesso termine anche per quelli che erano notoriamente composti. Alcuni dotti più delicati volendo sfuggire tale antilogia, evitarono il nome di atomi, vi sostituirono quello di *equivalenti*, col che il linguaggio era indipendente da ogni teorica, e rappresentava materialmente il semplice rapporto de' pesi con cui le sostanze si combinano ed *equivalentemente si sostituiscono una all' altra*. Ma la teoria dell'equivalente definito e multiplo non è spiegabile altrimenti che supponendo la materia composta di centri distinti e semplici, siano essi poi fisicamente divisibili o no, ma sempre tali che colle nostre forze praticamente parlando siano affatto indivisibili. Alcuni credono che il salire dagli equivalenti agli atomi sia uno spingere la teoria più in là del dovere, ma ciò è a torto: il fatto degli equivalenti è un puro sperimento, e la costituzione atomica è la deduzione logica tratta dal medesimo. La sperienza che ha potuto pronunziare sul primo punto, nulla potrà mai decidere sul secondo, perchè gli atomi non si

potranno mai maneggiare colle dita, nè vedere cogli occhi. Del resto il fatto delle proporzioni definite non è il solo da contemplare, e vedemmo che la legge dei calori specifici di cui abbiamo detto nel capo 1.° (pag. 97.) dà una delle più chiare dimostrazioni che i corpi sono formati non solo in proporzioni definite ma che anche i loro atomi elementari hanno una capacità di moto termico determinato, e lo stesso dicasi degli equivalenti elettrici.

Ma oltre i fatti noti a' primi chimici, ne sono recentemente venuti degli altri a convalidare queste idee che esporremo brevemente. Un esame comparativo dei diversi pesi de' vari equivalenti de' corpi condusse il Dott. Prout a giudicare che essi erano multipli dell' idrogene. La legge di Prout bastava a dare le proporzioni per tutti i casi di chimica pratica nelle arti e anche per lo più nelle analisi delicate; ma il diligentissimo Berzelius avendo rideterminato i pesi degli equivalenti, concluse diversamente, e gli sembrò di trovare rapporti non punto esatti.

Queste due maniere di vedere condurrebbero a condizioni elementari della materia affatto opposte (1). Nella teorica Berzeliana ogni elemento semplice della chimica minerale sarebbe un essere distinto e affatto indipendente dall' altro, le cui molecole nulla avrebbero di commune, tranne la loro stabilità, immutabilità, inerzia ec., e vi sarebbero tante materie distinte quanti sono elementi chimici. Anzi a tutto rigore questa può condurre a una costituzione meramente dinâmica, cioè a un puro aggregato di forze senza sussistenza materiale.

L'altra permette invece di supporre che la molecole dei diversi elementi chimici attuali potrebbero benissimo esser formate dalla condensazione di una materia unica, come per es. l'idrogene, supponendo vera la relazione trovata da Prout, e fondata la sua scelta dell'unità di peso.

Inoltre siccome si trova che certi corpi di proprietà

(1) Dumas C. R. tom. XLV pag. 711. an. 1857.

diverse hanno equivalenti eguali, essa condurrebbe alla conseguenza che eguali quantità di questa materia unica, potrebbero costituire elementi del medesimo peso, ma dotati di proprietà distinte, solo per una diversa aggregazione di parti.

Similmente trovandosi corpi che hanno equivalente mulplo di quello di un altro, ovvero intermedio esatto tra quello di altri due, ne seguirebbe potersi riguardare la molecola di un elemento intermediario tra due altri della stessa famiglia, come prodotta dall'unione di due semimolecole degli elementi estremi.

Finalmente non era difficile il riconoscere che molti equivalenti minerali potevano esser prodotti secondo leggi simili a quelle già trovate pei radicali dei composti organici. Quindi la teoria di Prout assimilerebbe i presunti radicali semplici della chimica inorganica ai radicali composti dell'organica, la cui costituzione è conosciuta: i primi differendo però dai secondi per una stabilità infinitamente maggiore, onde resisterebbero alle forze della nostra analisi.

La questione ridotta a questi termini è stata trattata dal Dumas, il quale ha trovato dietro rigorosi esperimenti che si verifica sempre la legge di Prout, tranne due casi, cioè nel cloro , e nel rame, i cui equivalenti divengono numeri frazionari. Così per il cloro si ha 35, 5 e pel rame un numero tra 31 e 32. Se in qualche altro corpo vi è eccezione, essa finora è per i corpi più rari, ove può sospettarsi imperfezione di sperienza , ma per questi due l' eccezione alla legge di Prout è certa.

Ora in presenza di tal fatto non sembra all' illustre chimico che si debba punto rigettare la legge, ma soltanto ribassare l'unità di peso, e attenersi all'enunciato, che *tutti i corpi semplici hanno peso atomico multiplo di quello di un corpo ancora ignoto che avrebbe per equivalente solamente* 0, 5, *ossia la metà dell'idrogene.* Così la legge di Prout sarebbe vera

in sostanza, e solo sarebbe da mutare l'unità da esso adottata. Non essendo punto probabile che l'atomo dell' idrogeno sia il vero atomo semplice della primitiva creazione, credo che non si stenterà ad ammettere la modificazione del Dumas.

In quanto alla seconda particolarità, cioè di corpi che abbiano peso eguale o multiplo o intermedio, una occhiata alla tavola de' loro pesi atomici lo fa vedere. Il manganese e il cromo l'hanno eguale, l'ossigene e il solfo l'hanno come 1 a 2. Fra i metalli alcalini poi si verificano i più curiosi rapporti entro limiti tali da farli credere esatti: così l' equivalente del sodio è medio tra il potassio e il litio $(39 + 7): 2 = 23$. Raddoppiando il peso del sodio e aggiungendolo al potassio si ha quello del rubidio $46 + 39 = 85$, ecc.

Contentandosi di semplici approssimazioni, cotali combinazioni potrebbero assai moltiplicarsi, ma a discapito della verità. La più grande circospezione si esige in questa materia ove è facile cadere in meri giuochi di cifre. Tuttavia il legame di certi gruppi di sostanze è così stretto che le proprietà loro si manifestano anche nei corpi novellamente scoperti. Così per es. nei metalli alcalini per farli entrare nella legge di Dulong et Petit, vale a dire per ottenere che i calori atomici di questi corpi fossero eguali ai calori atomici degli altri metalli, era stato mestieri ridurre a metà i pesi loro attribuiti: il tallio metallo trovato ultimamente non sfugge punto a questa legge (1).

Ma una eccezione manifesta si ha nel fluore, cloro, bromo e iodio in cui gli quivalenti non sono punto multipli esatti, malgrado la grande affinità del gruppo componente questi corpi, e non ostante che si fosse già creduto il bromo essere medio tra il cloro e lo iodio. Ma si dovrà però dire che queste sostanze tanto unite non hanno alcun rapporto reciproco de' pesi atomici e quindi di possibile composizione?

(1) Dumas loco cit.

La difficoltà è stata sciolta dal Dumas mediante un confronto sagace tra i composti derivati da radicali organici coi corpi minerali semplici. Essendo questa materia di molta importanza daremo un breve estratto del suo lavoro.

Una delle famiglie più caratteristiche in chimica organica è quella degli eteri, come metilio, etilio, propilio, butilio ecc. La composizione loro si esprime per le formole

$C^2 H^3$ = carb 2 + idr. 3 = 15 + 0
$C^2 H^5$ = ... = 15 + 14 = 29
$C^2 H^7$ = ... = 15 + 2.14 = 43

22 sono i corpi conosciuti di questa famiglia, e tutti i pesi atomici si esprimono per 15 più un multiplo di 14, talchè la formola generale del peso è:

$$a + nd \text{ ossia } 15 + n.\ 14$$

Ora tra tanti numeri ne nascono delle combinazioni binarie così vicine che una ha peso molto prossimamente doppio dell'altra: ma si ingannerebbe chi si lasciasse guidare da questi caratteri, mentre la vera legge è tutt'altra, cioè quella di una semplice progressione aritmetica di una differenza d additiva.

Un altro gruppo è quello degli ammonidi il cui radicale composto Az H^4 dà origine a molti composti in cui 1, 2, 3, 4 equivalenti di idrogene possono essere sostituiti da 1, 2, 3, 4 di metilio, e purchè la somma non superi 4, può prendere il posto di una qualunque delle 4 molecole, il che viene poi a ricadere in aggiungere al radicale i valori 1, 2, 3, 4 di $C^n H^n$; quindi la formola generale di questi composti è

$$a + n \begin{cases} d \\ d' \\ d'' \\ d'' \end{cases}$$

indicando con d. d' . . i pesi degli equivalenti rispettivi di

ciascun carburo d' idrogeno delle serie $C^n H^n$; ma alternando e sostituendo un termine all'altro si possono fare molti composti diversi, e applicandovi la formola algebrica delle combinazioni, si possono predire duecento mila radicali di questa specie per lo meno.

In questi casi il primo corpo a non cambia, ma vi sono altri composti in cui esso muta e diviene $2a$, $4a$, restando sempre le varie differenze del secondo componente. Così lo stagno e l' etilio d' danno la serie che è rappresentata per

$$n\,a + n\,d'$$

in cui a e d' possono ripetersi e d' stesso può variarsi con un altro qualsiasi degli equivalenti d, d'', d'''.

Questi fatti danno la chiave della proporzione relativa del fluore, cloro, bromo, iodio, tra i cui pesi atomici 19; 35, 5; 60; 127 sussistono le seguenti relazioni:

Fluore. . =	a	= 19	
Cloro . . =	$a + d$	= 19 + 16,5	= 35,5
Bromo. . =	$a + 2d + d'$	= 19 + 33 + 28	= 80
Iodio . . =	$2a + 2d + 2d'$	= 38 + 33 + 56	= 127

L'azoto, il fosforo, l'arsenico, l'antimonio e il bismuto danno le seguenti:

Azoto . . =	a	= 14	
Fosforo . =	$a + d$	= 14 + 17	= 31
Arsenico. =	$a + d + d'$	= 14 + 17 + 44	= 75
Antimonio =	$a + d + 2d'$	= 14 + 17 + 88	= 119
Bismuto . =	$a + d + 4d'$	= 14 + 17 + 176	= 202

Il carbonio, boro e silicio, zirconio danno

Carbonio. =	a	= 6	
Boro . . =	$a + d$	= 6 + 5	= 11
Silicio . . =	$a + 3d$	= 6 + 15	= 21
Zirconio . =	$3a + 3d$	= 18 + 15	= 33

ma del zirconio è un poco incerto il peso.

L'ossigene, il solfo, il selenio e il telluro danno

Ossigene .	a		a	$= 8$
Solfo . .	$2a$	ossia	$a + d$	$= 8 + 8 = 16$
Selenio .	$5a$		$a + 4d$	$= 8 + 32 = 40$
Telluro .	$8a$		$a + 7d$	$= 8 + 56 = 64$

quì la differenza $a = d$ onde si presenta la 2ª formula.

Il magnesio ed altri terrosi fanno il seguente gruppo:

Magnesio	$= a$	$= 12$
Calcio . .	$= a + d$	$= 12 + 8 = 20$
Strontio .	$= a + 4d$	$= 12 + 32 = 44$
Bario . .	$= a + 7d$	$= 12 + 56 = 68$
Piombo .	$= 2a + 10d$	$= 12 + 90 = 104$

Finalmente i metalli alcalini danno:

Litio . .	a	$= 7$
Sodio . .	$a + d$	$= 7 + 16 = 23$
Potassio .	$a + 2d$	$= 7 + 32 = 39$
Rubidio .	$3a + 4d$	$= 21 + 64 = 85$
Cesio . .	$4a + 6d$	$= 28 + 96 = 124$
Tallio . .	$6a + 10d$	$= 42 + 160 = 202$

È singolare come questi tre ultimi scoperti posteriormente alla teoria del Dumas entrino si bene nel quadro.

Molti rapporti si potrebbero qui citare, che riduconsi per molte sostanze a una mera differenza costante: così tra il titanio 25 e quella dello stagno 59 è una differenza 34, la quale è doppia di 17 ch' è la differenza tra il fosforo e l'azoto, e si ha la serie . .

titanio	25	diff.
stagno	59	34
tantalio	93	34

Così pure i seguenti: cromo, molibdeno, vanadio, tungesteno, che intercalati danno 26, 48, 70, 92 con progressione aritmetica di cui il rapporto = 22.

Questi confronti non saranno da nessuno riguardati c(

me giuochi ingegnosi di cifre, facili ad eseguirsi prendendo una opportuna unità, perchè variando i pesi degli elementi da 1 a 176 sembra agevole trovare molti rapporti fra i divisori dell'ultimo numero. Quest'obbiezione si risolve in più modi; 1.° dicendo che non si confrontano solo gli estremi della scala, ma anche de' termini intermedi, e pure fra essi sussiste la relazione in rapporti di cifre molto meno disparate; 2.° che la somma scrupolosità de' moderni chimici avendo spinto le determinazioni de' pesi atomici a una precisione sorprendente, non permette di sospettarvi errore che guasti tali conseguenze; 3° considerando, come dicemmo, il carattere chimico e fisico de' corpi di ciascun gruppo il qnale è così analogo che esso solo mostra dovervi essere qualche ragione nella struttura intima delle loro molecole. Questa analogia sussiste nei radicali organici come nei minerali, e il primo costituente *a* sembra esser quello che determina il genere del gruppo, e l'altro *nd* la differenza, ossia la specie. Chi non vede i tipi omologhi del fluore, iodio, bromo, cloro, che possono dirsi i corpi alogeni? quello degli alcalini è anche più marcato, e così il selenio, solfo, ossigene e telluro che sono corpi acidificanti, e via discorrendo. Onde col dotto autore possiamo concludere: 1.° *che gli equivalenti dei corpi semplici appartenenti a una medesima famiglia naturale costituiscono sempre una progressione per differenza alla maniera dei radicali della chimica organica.*

2.° *Ma la ragione di questa progressione spesso costante è talora surrogata in alcuni termini della progressione da una ragione equivalente, il che nasconde la semplicità della legge* (1).

Il chimico si arresta naturalmente a questi fatti come deve, ma il filosofo non può a meno di non rilevarne l'importanza ed estenderne le conseguenze. L'inevitabile deduzione a noi pare che i corpi da noi riputati semplici sono realmente

(1) Dumas loco cit. C. R. XLV.

essi stessi aggregati molto complicati di altri elementi complessi, ma che in fine possono risolversi in una sola materia.

Un appoggio a questa dottrina è venuto dai recenti studi di Tyndall, che già toccammo altrove (1) parlando dell'assorbimento calorifico, che pei gas semplici è immensamente minore che pei composti. La spiegazione di questo fatto si desunse dalla diversa complicazione delle loro molecole: le prime essendo meno angolose e complicate di quelle de' secondi, l'etere vibrante soffre fra esse minore attrito. Ora qui vediamo effettivamente questi gas permanenti e semplici esser formati di unioni semplicissime di molecole, come lo mostrano i loro pesi atomici che sono tra i più bassi. All'incontro le molecole organiche che assorbono assai, sono composte di grandissimo numero di atomi elementari. I profumi, che sono per lo più olii essenziali complicati, hanno una forza assorbente enorme.

Vedendo noi pertanto che anche queste compostissime molecole possono entrare a combinarsi come le più elementari, non ci rimane più da questo lato improbabilità di credere che le elementari stesse non siano ancor esse composte. Tra le due classi di molecole però vi è questa differenza, che la riunione delle ultime essendo assai più stabile non cede ai nostri mezzi di decomposizione. Però se guardiamo bene che questi mezzi si riducono in ultima analisi al moto molecolare calorifico o elettrico, coadiuvato da quelle forze stesse che costituiscono le affinità, possiamo ridurre la differenza a ciò, che l'agitazione termica ha diversa influenza nel grado di queste combinazioni, talchè mentre le combinazioni delle masse elementari possono percorrere una grande scala di temperatura senza scomporsi, nelle sopracomposte organiche invece tale estensione di scala è assai limitata. La qual cosa facilmente si comprende come conse-

(1) V. sopra pag. 193.

guenza delle loro complicazioni stesse; perchè essendo in queste aumentato notabilmente il numero de'corpuscoli che formano il sistema, onde deve riuscire più facile dar loro diversa forma e nuova aggregazione, e con ciò stesso la scomposizione diviene più facile, anche per semplice trasposizione di parti senza levarne veruna delle integranti.

In fatti in una aggregazione di corpuscoli numerosi non basta prendere in considerazione i loro numeri relativi, ma anche è da considerare la loro disposizione, talchè talora anche senza mutare la materia varierà il composto per mera trasmutazione di luogo delle parti. Come una scacchiera può formarsi con vari quadrati a due o più colori diversi in molti e molti modi, così mettendo insieme diversi corpuscoli in modo diverso benchè in numero identico, può nascere un corpo di proprietà affatto diverse. I chimici ben conoscono queste cose, e a nessuno è ignoto che più è elevato il grado di composizione, più abbondano i corpi *isomeri*, e ciò accade specialmente negli organici.

A queste aggiungasi la particolarità geometrica che è impossibile disporre nello spazio a tre dimensioni de' punti a distanze uguali in tutti i versi, onde necessariamente tali sistemi solidi devono essere più densi in una che in un'altra direzione, e si scorgerà come anche con una identica sostanza combinata a gruppi di diversa forma e maniera si possano avere risultati svariatissimi.

Resterebbe pertanto da ciò dimostrato quanto dicemmo da principio che la materia è progressivamente formata di successivi ordini di sistemi decrescenti, e che la molecola gazosa ordinaria e composta è una riproduzione di un sistema di ordine superiore, come la molecola detta elementare è di ordine inferiore. Nulla ci dice che qui finisca la serie, ma per non andare all'infinito, applicaremo ad essa ciò che è per dirsi dell' ultima riunione di atomi in istretto senso.

Nei sistemi formati, a questo modo, dovrà inoltre con-

siderarsi la velocità di proiezione primitiva, per la qual causa le loro orbite saranno diverse e l'estensione delle loro escursioni assai differenti. Da questa può benissimo, come avverte Graham, aver origine il diverso peso degli equivalenti chimici. Inoltre volumi eguali possono unirsi insieme e ritenere o tutto o in parte il loro moto di traslazione e mutare quello di rotazione, e così variare la densità dell'elemento (1).

Tale è la nozione della costituzione de' corpi che discende dallo studio comparativo de' fenomeni chimici, combinato con quelli del calorico, e coll' induzione che si ha dai fenomeni generali della materia. La sola supposizione arbitraria è quella di accorciare la scala che forse ha luogo in natura, supponendo che quelli che noi diciamo *elementi* chimici siano molecole di primo ordine. Nulla vieta che esse stesse siano di ordine superiore, ma non potendosi, come dicevamo, andare all'infinito deve venire un termine, e perciò secondo ogni ragione dobbiamo *prendere la materia come composta di atomi distinti e originalmente separati*.

La teoria atomica lungi adunque dall' essere assurda e incapace a spiegare i fenomeni, come alcuni pretendono è anzi quella che risulta direttamente dai fatti. Di più, essa è indipendente dalla teoria delle forze che determinano l'unione di questi atomi, perchè restar può ad arbitrio di ciascuno l' immaginare o che essi siano determinati al moto da cause occulte e potenze intrinseche, ovvero che tutte le loro unioni si compiano per l'azione estrinseca di un mezzo in movimento. Il fornirli di forze astratte è certamente la cosa più commoda, ma in più luoghi abbiamo veduto la complicazione che porta un tale sistema, è l' infinito numero di forze che bisogna ammettere. Per dir poco, è quasi mestieri applicare a questi atomi una certa intelli-

(1) Graham *Proceedings* R. Soc. London. XII pag. 621.

genza per arrivare a sapere se debbano agire o no, e qualche cosa che li avvisi che sta presente il soggetto su cui esercitare l'azione! Questa forza, poi che cosa è? Come non si esaurisce mai! Come è che stando essa sempre in attività e disposta ad agire su tutti i corpi, quando glie se ne presentano due insieme, sull'uno agisce e sull'altro no? Ha essa intelligenza da scegliere? Potremmo di leggeri moltiplicare queste domande, sicuri di non averne risposta, e perciò inutilmente, quindi sarà miglior partito cercare di svolgere il concetto delle forze supponendole derivate dal moto da cui è animata la materia.

§. 3.

Delle forze attrattive in genere: loro genesi per moto meccanico.

I corpi come si rilevò dall' articolo precedente sono aggregati di atomi in origine probabilmente omogenei, e che coi diversi gruppi formano le molecole dette elementari; questa però è una ipotesi la quale benchè probabilissima, non è necessario che sia la base delle nostre future conclusioni. Oltre questi aggregati, ovvero oltre questi atomi più grossolani esiste una materia più attenuata e sottile che diciamo etere, e che per quelli che ammettono la prima ipotesi sarà costituita dagli atomi primordiali, e per quelli che la negano sarà formata di materia *sui generis.* Un tal mezzo deve esistere anche nella teoria degli emissionisti e diffusionisti, poichè questi col riempire lo spazio di infinite emanazioni devono a quest'ora averlo ridotto ad esser pieno di infinite molecole ripellentesi, perchè dotate di prodigiosa velocità, che devono costituire un vero fluido. Onde le due ipotesi sono concordi nel fondo, benchè siano discordi negli enunziati (1).

(1) Vedi sopra pag. 152.

La principale differenza dei due modi di pensare si ridurrebbe a questo, che la luce si propaga nel mezzo degli emissionisti per moto progressivo, mentre per gli altri si propaga per moto ondulatorio: ma dopo gli studi esposti su di essa è impossibile ammetter la prima ipotesi, quindi dobbiamo abbracciare la seconda. Abbiamo veduto che non può ammettersi moltiplicità di tali materie sottili, nè che una sia destinata alla luce, l'altra all'elettrico, o al magnetico, ma che una sola è sufficiente a tutto, salvo il diverso modo di aggregazione della materia ponderabile a cui si trova frammista. Ora assicurato questo punto fondamentale, dell'esistenza cioè di un mezzo diverso dalla materia palpabile e pesante, dobbiamo vedere se sia in qualche modo possibile che la sua azione produca attrazioni, anche quando mancano apparentemente quelle condizioni di disequilibrio che vedemmo dover costituire lo stato elettrico. Tal cosa non ci pare assolutamente impossibile dietro le proprietà della materia riconosciute come certe e specialmente dall' esser essa dotata di continuo movimento. Noi non diremo che la maniera che stiamo per proporre sia la sola con cui ciò può accadere, ma solo che essa è una delle molte con cui può concepirsi.

Tutti i fenomeni della materia dipendono da due forze: l' attrattiva e la ripulsiva, che sotto nomi più o meno diversi, di amore o di odio, di fuga o di tendenza, sono state ammesse dai filosofi di ogni età, e le provano i fatti più communi. Ora se per quel che si disse del calorico e dell'elettrico la forza ripulsiva in ultimo risultato non è che l'effetto di un movimento intestino della materia per combinazione di impulsione e rotazione degli atomi e de' loro gruppi, e per analogia può estendersi agli atomi ciò che si disse dei gas, ne segue per ragione dei correlativi opposti, che l'attrazione debba risultare da una diminuzione di tal moto o da una mancanza di esso, o da una reazione in direzione opposta. Quello che tocca alla scienza

è di indicare come da questa causa ne possano nascere tali avvicinamenti secondo le leggi conosciute.

Premettiamo però alcune riflessioni generali. Abbiamo già detto altre volte che una forza attrattiva in istretto senso, cioè come principio attivo risedente nelle molecole e operante attraverso un vuoto assoluto, a noi riesce inconcepibile, perchè tale azione dovrebbe esercitarsi dai corpi a distanza il che è assurdo, e l'esser le distanze grandi o piccole non muta la difficoltà.

Se poi guardiamo la cosa in concreto dovremmo ammetter nelle medesime molecole e nel medesimo tempo forze attrattive e ripulsive, e operanti con certa scelta; le quali da positive verso un corpo diventino negative verso un altro, e spesso verso lo stesso corpo a diverse distanze, o a mutate temperature, o per la presenza di un altro corpo; dei quali effetti è piena la fisica e la chimica. Così dovrebbero moltiplicarsi questi principii nei singoli atomi in modo prodigioso, e dotarsi di una certa facoltà di sapere quando occorra attrarre o respingere e a tale o tal altra distanza e in certa direzione! Queste sono cose inconcepibili e assurde: e d'altra parte l'esperienza mostra che a mano a mano che si conosce la vera causa de' fenomeni tali supposte *tendenze* svaniscono ogni dì più (1).

Oltre questi inconvenienti teorici e fisici, vi è ancora di più la mancanza di ogni prova diretta dell'opinione che

(1) Possiamo illustrare ciò con un esempio. Tutti sanno che le piante tendono alla luce. Tal tendenza misteriosa è essa proprietà della pianta in vero senso? per nulla affatto: ma siccome il tessuto vegetale viene elaborato mediante l'energia chimica della luce, così dal lato della luce cresce la pianta, e il volgo attribuisce alla pianta il cercar la luce, mentre è la luce che lavora la pianta. Benchè in altro genere, questo è un fenomeno simile a quello con cui certe efflorescenze saline crescono verso l'aria più libera, perchè colà si scioglie meglio l'umidità: si dovrebbe dire quì che il sale cerca il secco?

confutiamo. Nulla di più ovvio, è vero, che trovare autori i quali immaginato che abbiano nello spazio vacuo e assoluto due molecole, soggiungano come loro proprietà che queste si tireranno e correranno l'una contro l'altra in certa ragione ecc. Ora a tale ipotesi nessun fatto porge la minima prova diretta, perchè noi non possiamo osservare l'azione di *due sole* molecole, e nemmeno osservare fatti analoghi ad essa nel vuoto: tutto quello che vediamo si fa tra masse finite e composte, e dentro un mezzo, e quindi quel loro principio teorico non ha nessun diretto fondamento sperimentale. Ciò che ha dato origine a tal concetto è stato il vedere due corpi celesti, andar uno contro l'altro, i quali essendo prossimamente sferici, per finzione matematica possono considerarsi concentrati nel loro centro di gravità, come due punti o due molecole: ma tale azione non esercitandosi nel vuoto, vi è sempre da domandare se tale accostarsi non sia piuttosto effetto di estrinseca causa impellente che d'intrinseco principio operante. Almeno i vecchi fisici con Newton alla testa lasciarono la questione pendente. Nè la matematica qui alcuna cosa può decidere. Essa dice soltanto che i due corpi si avvicinano con velocità o accelerazioni che nella unità di tempo sono in certo rapporto colle distanze: questa è una legge di fatto, e non insegna punto da che causa venga quella velocità, se per impulsione o altro. *Il caso adunque di due molecole isolate operanti una sull'altra nel vuoto assoluto è una pura finzione geometrica.*

All'incontro la realtà fisica ci mostra i corpi che operano reciprocamente sempre immersi in un mezzo, e stando ai fatti la via più logica e retta è di cercare come l'azione di esso possa produrre tali accostamenti. Anzi l'induzione prova il contrario manifestamente, perchè mostra che due particelle isolate, non che attrarsi devono piuttosto allontanarsi, attesochè la forza ripulsiva cresce colla attenuazione della materia, ed è più energica colà dove essa è

più assottigliata, come quando passa per le sostanze porose ecc. Quando la scienza credeva non esistenti que' mezzi che erano intangibili, poteva supporsi esister un vuoto nello spazio planetario; ma ora che essa ha dimostrato che un tal mezzo esiste e opera, ad onta che sfugga ai sensi direttamente, noi abbiamo diritto di tenere per dimostrato questo principio, che le attrazioni che si osservano in natura non si verificano mai fra atomi isolati della materia, ma sempre fra sistemi, e nel seno di un mezzo; e resta solo a far vedere come dall'azione di questo esse possano derivare.

Questo mezzo lo supporremo composto di atomi isolati indipendenti, e privi di qualunque forza interna di elatere, ripulsione o altro, e soltanto che siano impenetrabili e capaci di movimento. Oltre queste proprietà generali possono due ipotesi immaginarsi sul loro stato, 1.° che siano in quiete assoluta e privi di moto rotatorio, 2.° che siano dotati di movimento rotatorio e traslatorio, o almeno di moto rotatorio. Esaminiamo pertanto quel che deve accadere in un tal mezzo per un urto prodotto da una causa qualunque, la quale può essere una molecola, o un atomo stesso del mezzo dotato di un impulso grandissimo.

Nella 1.ª ipotesi in cui gli elementi del mezzo sono in quiete e privi di forze di elatere è manifesto che si farà la comunicazione del moto colla legge dei corpi *duri*, cioè si produrrà una traslazione simultanea della massa urtante e delle urtate che si estenderà fino all'estremo limite del mezzo, senza altro effetto che di uno spostamento di una porzione della massa in certa direzione. Se poi si volesse che tali atomi fossero dotati di elasticità, ma senza rotazione, l'effetto si ridurrebbe ad una vibrazione, e nulla più.

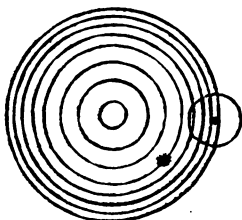
Supponiamo ora, come nella 2.ª ipotesi, gli elementi del mezzo dotati di moto rotatorio. In tal caso l'urto non produrrà un moto traslatorio in una linea, ma un moto diffuso in una sfera circondante il corpo urtante. Infatti l'urto facendosi generalmente fuori del polo di rotazione e obbliqua-

mente all'asse, per la composizione del moto rotatorio col traslatorio nell'atomo urtante, ne nascerà una risultante obliqua, e il suo centro di gravità verrà rimbalzato dall'atomo urtato direttamente in un altro vicino, e da questo nel prossimo, come farebbesi di un corpo elastico in mezzo ad altri pure elastici. Però secondo le incidenze si potranno avere i moti di *riflessione* che equivarranno all'elasticità, e quelli di *progressione* con cui gli atomi continueranno la loro strada e dilateranno il mezzo, e inoltre i moti di *conversione* positiva o negativa secondo che la rotazione continuerà nello stesso senso o sarà rovesciata. Così per tali urti il centro dell'atomo potrà ritornare addietro o essere precipitato avanti e mutare direzione con aumento o diminuzione di velocità (1). La conseguenza sarà che gli atomi saranno attorno attorno messi in moto e si avrà una dilatazione e spostamento tale, per cui verranno allontanati dal centro di concussione, non in una linea sola, ma in uno spazio di certa estensione, che chiameremo sfera di azione.

Siccome poi ogni atomo urtato diviene esso stesso capace di urtare i vicini e perciò un vero centro di scuotimento, così nella stessa maniera si avrà una propagazione di questo moto dalla sfera degli atomi contigui al primo centro ad una seconda sfera, il cui raggio si estenderà ad un terzo ordine di atomi, e da questi ad un ordine quarto e via discorrendo. Tal propagazione si vede che è diversa da ciò che accadrebbe in un mezzo semplicemente elastico, perchè in questo mancando le *progressioni* e le *conversioni* non si ha realmente dilatazione permanente, ma solo restituzio-

(1) Veggasi il già detto nel C. I. §. 6. pag. 38 e seg. Un caso curioso di queste riflessioni è quello che si osserva nel lanciamento del *boomerang*, sorta d'arma degli indiani formata di un bastone piegato nel mezzo ad angolo ottuso. Questo gettato con certa arte, colpisce l'oggetto lontano e ritorna esattamente alla mano di chi lo lanciò, per una *conversione*, e una *riflessione*.

ne completa al posto di prima , talchè passata la concussione tutto rimane in quiete.

La conseguenza adunque che nascerebbe dall'ammettere un centro di scotimento permanente in un mezzo uniforme nelle condizioni che abbiamo detto, sarebbe una dilatazione, che a *certa distanza* può assumersi di forma sferica, nella quale la densità del mezzo va decrescendo dal centro alla circonferenza. È manifesto che un centro anche unico purchè dotato di moto sufficientemente energico e durevole può mettere in agitazione tutta una massa illimitata quanto si voglia, e conformarla in modo che la densità minima al centro vada crescendo verso la circonferenza. L'intensità dell'urto decrescerà secondo la massa scossa, e la dilatazione sarà in ragione inversa del quadrato delle distanze, per la ben nota legge che la massa sferica degli strati messi in agitazione cresce come il quadrato della distanza medesima. Si avverta che per ottenere tali effetti non è mestieri supporre gli atomi sferici, ma possono esser di forma qualunque, perchè la teoria delle rotazioni ci insegna che la figura esterna de'corpi che si urtano è indifferente, e che tutto dipende dalla disposizione dei loro assi principali di inerzia, e a un solido di forma qualunque può sempre sostituirsi un ellissoide regolare.

A *B*

Si immagini ora che oltre il primo centro di scotimento che diremo *A* , se ne costituisca un altro *B* posto necessariamentre dentro l' interno della sfera di *A* perchè questa come si è detto può estendersi all' infinito. È ma-

nifesto che la quantità di materia, e quindi la resistenza al moto che troverà la particella o atomo urtante *B* non sarà più simmetrica come prima, ma più forte dalla parte esterna e più debole all'interna, talchè sulla linea *BA* che li congiunge si avrà minor massa da incontrare e minor resistenza : quindi uno spazio maggiore sarà percorso da *B* quando cammina verso *A* che quando colpisce in verso opposto. Quindi ne verrà un trasporto di *B* verso *A*, e questa maggior facilità di moto avendo sempre luogo finchè dura lo scotimento centrale, continuerà pure il progressivo accostarsi dei due centri medesimi, finchè siano ridotti al mutuo contatto; o piuttosto fino a tanto che uno agisca per urto diretto su l'altro. In questo limite comincerà una reciproca collisione tanto tra di loro che col mezzo circostante, il quale avrà così un centro di energia doppia della prima, e i cui effetti esamineremo tra poco. Da ciò si conclude che due atomi o due molecole considerate come due centri animati da un movimento in un mezzo così costituito, *avranno una reciproca tendenza ad avvicinarsi*, non per una intrinseca forza, ma per una diversa resistenza al moto che in una direzione è minore che nell'altra.

Il discorso fatto finora suppone gli atomi del mezzo dotati di soli moti rotatorii. Ma il ragionamento è lo stesso quando essi sono dotati anche di moto di traslazione, purchè all'asse istantaneo si sostituisca l'asse spontaneo di rotazione. Quando il mezzo sia assai denso, è evidente che i singoli atomi non possono aver moto traslatorio di grande estensione, ma solo di piccolissima escursione. Ove poi esistano molti di questi centri di scotimento la risultante esterna dipenderà dalla loro somma, distribuzione e distanza dietro i soliti principi geometrici, potendosi fare astrazione dal modo con cui si produce tale avvicinamento e prenderlo come un fatto primitivo che si eseguisce con certa legge, e applicarvi effettivamente il calcolo della forza attrattiva col metodo ordinario.

Supponendo pertanto che la materia ponderabile sia composta di tali centri di movimento immersi in un tal mezzo, ne segue necessariamente che ognuno di questi deve avere tendenza ad accostarsi all' altro, e così ne nascerà una vera forza attrattiva che esisterà dovunque esistono questi centri. Nè potrebbe obbiettarsi che anche ogni atomo dell' etere dovrebbe divenire un centro di attrazione, perchè essendo questo formato di atomi eguali e isolati, ancor essi in movimento rotatorio con massa e velocità eguale dappertutto, lo scotimento non potrà avere per effetto una dilatazione definita in nessun verso, perchè non vi sarà centro alcuno di azione predominante. Ma il contrario avverrà ove sia un centro di maggior massa o di maggior velocità, quali sono le molecole ponderabili, o dove due o più atomi agglomerati insieme agiscano come massa unica.

Resta ora a vedere come si debbano concepire questi centri di scotimento per completare il caso teorico che abbiamo esaminato finora. Per ciò vi sono due maniere possibili; una che questi siano punti di materia primitiva aventi maggior massa maggior volume e maggior velocità del resto, e che questo moto sia loro tanto naturale quanto la loro propria esistenza, e che tali centri siano ciò che noi chiamiamo atomi ponderabili.

L'altra è che possono effettivamente aggregarsi parecchi atomi eterei in modo da equivalere a una massa unica, il che può avvenire per la sola loro inerzia. Supponendo infatti che in un certo numero di essi la velocità di traslazione e rotazione diventi eguale e comune, dopo questa unione seguiteranno a viaggiare e operare come una massa unica, benchè composti di più individui distinti. Tali centri aventi così una massa multipla degli altri atomi isolati costituirebbero le molecole della materia ponderabile che così non sarebbe in sostanza diversa dall'eterea. Per costituire una simile molecola composta non sarebbe mestieri che quegli atomi fossero rigorosamente a contatto, ma ba-

sterebbe che avessero un movimento sincrono in tutto, col che avrebbero unità di azione, ed energia multipla in ragione del loro numero che forma la massa. Tale unione può esser facilitata dall' azione rotatoria, e risultare dagli urti ripetuti che può condurre al parallelismo di rotazione una moltitudine di atomi che formerebbero la molecola. Questi aggregati che ritmicamente andassero percotendo in giro gli atomi circostanti, formerebbero un vero vortice che darebbe luogo a una diminuzione di densità eterea attorno quel punto. Essi non avrebbero certo gli elementi loro legati da nessuna forza, ma potrebbero stare uniti perchè li hanno animati da una stessa velocità e direzione, e inoltre perchè il mezzo circostante, la cui densità è maggiore, esercita una vera pressione, generata e dalla propria inerzia, e dall' azione degli altri centri di movimento che urtano in contrario.

Se si domandasse come tali vortici non si dissipino dalla forza centrifuga che li anima, risponderemmo, che ciò è dovuto in parte alla causa che li genera e in parte alla minor pressione che è nel loro interno, come in quelli de'fluidi ordinari, e perfino nell'aria ove vortici tenuissimi viaggiano per miglia e miglia senza guastarsi. Devesi però osservare che questi che chiamiamo col nome di vortici eterei non sono in tutto simili a quelli de' fluidi comuni. Questi nascono da una rotazione estranea impressa attorno ad un asse determinato e in mezzo ad una porzione della massa che, stando in quiete relativa attorno alla parte rotante, viene a partecipare al movimento impresso e questo diffondesi tanto che riesce insensibile. I vortici eterei invece nascono dalla forza di proiezione individuale da cui sono animati i singoli atomi, e quindi non è necessario che l'asse sia unico e permanente. Di più il mezzo in cui essi sono formati non è in quiete, ma ogni atomo circostante ha una forza ed impulsione da restituire, onde se quelli che si agitano in orbite chiuse devono cedere una

porzione del moto al contiguo per un verso, la possono guadagnare per l'altro, e quindi conservarsi indefinitamente.

La piccolezza di tali vortici eterei sarebbe immensa, e molti milioni di essi entrerebbero nella lunghezza dell'onda luminosa: l'agitazione degli atomi non potrebbe esser percettibile ai nostri sensi nè come calorico, nè come luce, perchè tali movimenti si farebbero in spazi infinitamente più piccoli che le onde luminose. Ciascuno di questi vortici che potremmo chiamare infinitesimi costituirebbe le molecole de' corpi nuotanti nel resto dell' etere disgregato, e che non fa parte dei vortici stessi. Per la vibrazione di questi vortici l'etere intorno si trova pure rarefatto come si disse avvenire pe' semplici centri di scotimento. Questa rarefazione a distanza sensibile diviene minima a fronte di quella che esiste nel gruppo interiore degli atomi e operando in tutti i versi.dà origine ad una dilatazione circostante che equivale a quella che abbiamo detto di sopra parlando di un centro unico di movimento.

Ma comunque si vogliano concepire cotali centri o come aggregati di atomi dell' etere, o come corpuscoli di differente natura e struttura, sarà sempre vero che il loro rapidissimo moto di rotazione e di impulsione deve produrre attorno di loro un vortice nel mezzo circostante, che ha per risultamento di strascinare in giro una porzione dell'etere e di rarefarlo con certa legge fino a distanza indefinita. Il distruggere tali vortici, l' accelerarne la rotazione e ritardarla, il penetrare nel loro interno un corpo estraneo, il deviarne la direzione ecc. esigerà sempre una forza estrinseca e una potenza meccanica. Per tali azioni ed urti potrà accadere che di due o più vortici se ne formi un solo, il quale mentre esteriormente ha un giro ed un inviluppo comune, dentro ne abbia più d'uno giranti a minor distanza, senza che i loro centri arrivino a toccarsi, come dicemmo sopra pag. 176 e seg.

Abbiamo così due principii di forze attrattive ben di-

stinti: il primo derivante dalla semplice agitazione per tutti i versi, il secondo congiunto colle rotazioni e colla fusione delle atmosfere. Le forze molecolari che come si vide nel capo I.° suppongono una orientazione degli assi devono dipendere dall' azione reciproca de'moti rotatorii in grande vicinanza: la gravità invece potrà essere il risultato del semplice primo principio di urto e dilatazione indipendentemente dalla direzione. Siccome dovunque sono centri di materia ponderabile ivi è questa dilatazione, quindi la gravità sarà commune egualmente a tutti i corpi, e agirà su tutti. Ma non così sarà dell'azione vorticosa che dipende dalla direzione delle escursioni delle molecole centrali. Nella prossimità di questi centri sarà notabilmente diversa anche la dilatazione, perchè influenzata dall' estensione dell' oscillazione diretta della molecola e dalla sua rotazione. All' incontro a grande distanza queste sono insensibili perchè a propagare la dilatazione sottentra l'etere stesso i cui atomi sono di masse uniformi. Quindi la legge elementare della risultante deve essere affatto diversa nello strato contiguo alla molecola, e a maggiore distanza, e perciò non può confondersi la gravità coll' azione molecolare.

Ritrovata così una legge elementare di attrazione ne derivano come conseguenze i fenomeni tutti de'corpi composti; e le aggregazioni de' corpi dipenderanno dalla combinazione di questa secondo vari modi, come vedremo quanto prima. Quindi non resta più a opporre come fanno alcuni, che per loro è inconcepibile che p. es. tali moti tengano uniti i corpi: tale replica non ha più senso se si ammetta come risultato di tal moto la forza primitiva, poichè il resto ne è una mera conseguenza.

Tali movimenti nell'etere non possono certamente vedersi, nè se ne può da senno domandar prova sensibile. Nè essi nè le vibrazioni luminose possono avere altra prova che quella dedotta dai fatti per raziocinio: l' analogia ci guida in questa materia, come quella tra il suono e la

luce guidò i primi autori del vero sistema di propagazione di questa, e solo qui è mutato il soggetto.

Non neghiamo che la mente trova una certa difficoltà in adattarsi a immaginare tanto movimento e tanta complicazione di struttura in una molecola che noi siamo avvezzi a concepire come un soliduccio geometrico in quiete: ma questa non è che una difficoltà simile a quella che sente l'astronomo in guardare una nebulosa che nel campo del suo refrattore gli si mostra come un dischetto o un anello tranquillo. Al primo atto però di riflessione egli apprende che quella quiete non è che apparente ed effetto della debolezza del suo strumento e della distanza, ma che colà nell'interno deve esservi un immenso movimento senza di che quella forma stessa non potrebbe sussistere. Tale è il caso all'altro estremo della creazione delle costituzioni molecolari. Come l'immensamente grande è retaggio dell'astronomo, così ciò che *diciamo* immensamente piccolo lo è del naturalista, ma in sè non vi è realmente differenza di leggi primitive nella meccanica che governa i due estremi. Quel fisico che credesse aver fissato le dimensioni dell'ultima molecola di un corpo semplice, sarebbe egualmente ridicolo che quell'antico astronomo che credeva poter fissare in miglia inglesi la distanza da Londra al cielo cristallino.

La conservazione del movimento nei sistemi di questi vortici non è difficile ad intendere dietro ciò che dicemmo poco fa, e ciò che dicemmo già pei moti calorifici. Avvertimmo più volte che in natura nessun moto si distrugge: esso si scambia o muta direzione; e nei corpi rotanti è *generalmente* impossibile che i due moti di rotazione, e di traslazione si elidano tutti e due simultaneamente: perchè se anche sia così aggiustato l'urto che distrugga quello di rotazione, dovendo a tale effetto esser dato eccentricamente, esso produrrà con questo stesso una traslazione del centro di gravità, e viceversa se per un urto si distrugge quello di tralazione si aumenterà quello di rotazione.

Tutta la fisica esposta finora ci ha mostrato che le apparenti distruzioni de' moti meccanici che vediamo ogni dì non sono che trasformazioni o in moti moleculari sensibili sotto l'aspetto di calore, o in altri lavori che si contrappongono se non altro al lavoro della gravità o della reazione interna moleculare de' solidi. I moti degli ultimi atomi della materia si fanno necessariamente in un vero vuoto assoluto, e quindi non possono subir perdite di forza viva, nè resistenza, per cui sono inestinguibili come l' inerzia stessa della materia. Gli attriti che subirebbero non sarebbero che una comunicazione di moto al mezzo circostante il quale per ciò stesso aumenterebbe il proprio, e così l' energia non si estinguerebbe mai.

Tale è pertanto *una delle maniere* con cui può aver luogo l' attrazione mediante il movimento della materia. Movimento che dato dal Primo Motore la prima volta, per la legge di scambio non si annienta mai, ma resta sempre o sotto un aspetto o sotto un'altro nella massa creata. Altri distinti matematici han creduto che in altro modo per via meccanica possa aver luogo l'attrazione. Noi non neghiamo la possibilità di quelle, e di altre maniere.

Così per esempio è possibile che un moto ondulatorio trasporti gli oggetti immersi in un fluido, e lo vediamo tuttodì nelle onde marine che spingono i corpi al lido. Può anche allegarsi in appoggio il fatto che le concussioni in un mezzo composto di materie di diversa densità portano le più dense al centro. Altri vedendo che l'analisi dava ne' moti vibratorii una componente longitudinale che non si riconosce sulla luce, hanno attribuito a questa l' attrazione. Quest'ultima non è in fondo una maniera di concepire la cosa stessa molto diversa da quella che abbiamo sopra descritto. Però si potrebbe sempre fare una obbiezione a tutte le teorie che deducono le attrazioni per via ondulatoria, ed è che le onde per propagarsi esigono tempo, mentre le attrazioni finora non si è trovato che si propaghino

successivamente. All' incontro nel modo indicato l' azione si esercita piuttosto per pressione, onde benchè al principio la differenza di pressione debba stabilirsi col. tempo, pure dopo un certo intervallo ogni centro di materia ha già intorno a sè la sua sfera rarefatta che costituita una volta seguita ad esercitare la sua azione costantemente, e al traslocarsi del centro essa si forma successivamente con velocità superiore a quella del moto del punto centrale medesimo: ma non formandosi tutta d'un tratto come l' onda luminosa, e solo rinforzandosi e ampliandosi, perciò riesce impossibile riconoscerne il moto successivo.

Data così una idea generale del modo con cui può sorgere un'attrazione, passiamo a fare l'applicazione di questi principii alla spiegazione delle classi principali de' fatti in cui entrano in azione queste attrazioni stesse.

§. 4.

Applicazione degli esposti principii all'attrazione moleculare omogenea e all'affinità chimica.

Le forze di natura di cui ci resta a parlare sono di tre specie: 1.ª quella che costituisce l' aggregazione delle sostanze omogenee, 2.ª quella che unisce i corpi eterogenei, e 3.ª quella che estendendosi a distanze finite produce le attrazioni planetarie e la gravità. Voler concepir queste forze come derivanti da diversi principii fu sempre stimato un complicare inutilmente il concetto del creato; e specialmente avuto riguardo ai fenomeni dell' elettricità, la tendenza generale de' fisici in ogni tempo, ma a giorni nostri specialmente, fu di derivarle tutte da uno stesso principio (1).

(1) Esponemmo già le idee del Mossotti. Meritano di esser citate le parole di Lamé *Théorie de l'élasticité* pag. 2. « La gra-

Il primo effetto che dobbiamo esaminare è la coesione delle masse finite, la quale sembra che senza certi vincoli proppriamente detti non possa aver luogo. Ma un poco di riflessione insegna il contrario. Infatti anche in questi corpi le molecole ponderabili non sono ad un vero contatto, ma separate l'una dall'altra, e non differiscono dallo stato gassoso, che nella minor distanza a cui sono collocate, onde la lor unione non suppone forze che non esistano in tutti gli stati della materia, ma solo certo *grado* d'azione più prevalente in uno stato che in un altro. Ogni corpo, per compatto che sia, all'azione del fuoco si dilata, si rammollisce, si fa liquido, e coll'agitazione separatene le parti cessa la coesione. La coesione è dunque derivante da una mera vicinanza, e anche nel solido più ristretto tra particola e particola ponderabile esiste sempre un intervallo senza cui il moto termico non potrebbe aver luogo. Quel legame pertanto o è formato da forze astratte operanti a vera distanza ovvero dall'azione di un mezzo. Le prime sono per noi inconcepibili perchè la piccolezza delle distanze non toglie l'essere esse assurde, e perciò rèsta la seconda.

A quella guisa pertanto che non è duopo ammettere una vera repulsione, ma basta il moto diffusivo, così non occorre ammettere una vera attrazione, ma questa può sorgere dal movimento stesso del mezzo nel modo indicato nell'articolo precedente. In esso abbiamo riconosciuto due effetti ben distinti che contribuivano a questa attrazione: uno era la semplice dilatazione, e la differenza di densità del mezzo, proveniente dal moto combinato di impulsione e rotazione degli atomi, l'altra l' inviluppo commune e la rotazione di tutto il vortice circostante. La prima forza sembra esser inseparabile dalla molecola ponderabile come conseguen-

vitation et l'elasticitè doivent être considerées comme effet d' une même cause qui rendent solidaire et dependantes toutes les parties de l'Univers. »

za necessaria del moto di cui è dotata, essa è indipendente dalla distanza salvo che nella intensità, e dà origine a quella forza che regola i moti degli astri e forma la gravitazione universale : la seconda invece può esistere o nò secondo le distanze a cui sono collocate le molecole e dà origine alle attrazioni molecolari. Vedemmo già nel capo I. §. 10. che una non è effetto dell'altra, e che sono dovute ad un principio immediato differente di cui ora dobbiamo cercare di farci un concetto.

Noi vedemmo altrove che i solidi ordinari sono tali per un principio di cristallizzazione più o meno perfetta, e i fenomeni della luce ci mostrarono che un aggruppamento regolare con *certa direzione di assi* ha luogo sempre nelle minime masse che compongono un solido. La molecola integrante del cristallo non dipende da altro che dall'unione di tali centri di azione orientati. Ma siccome le sfere non si possono collocare nello spazio uniformemente distanti in tutte le possibili direzioni, quindi generalmente parlando tali agglomeramenti daranno origine a solidi aventi assi principali di diversa dimensione. Quindi le molecole fondamentali dovranno avere dei momenti d'inerzia differenti nelle diverse direzioni e diverse energie nelle rispettive rotazioni. Da ciò la diversità delle forme primitive cristalline , da cui poi coi soliti artifizi de' cristallografi possono trarsi tutte le altre figure composte. Ammesso che ciascun centro elementare di queste figure abbia una azione operante con certa legge, per es. una potenza inversa delle distanze, il complesso devierà da questa legge per ragioni meramente geometriche e si avranno risultati di azioni complesse in questi solidi elementari che produranno attrazioni speciali dipendenti dalla loro forma. Quantunque le orientazioni primitive possano spiegarsi senza l'intervento di un mezzo, tuttavia con esso riesce assai più facile comprenderle.

Trattando de' cambiamenti di stato vedemmo che per la diminuzione successiva di velocità fatta alle molecole di

una sostanza gassosa (per sottrazione di moto calorifico), esse si avvicinano fino al punto in cui una entra nella sfera dell'altra in modo che non può più uscirne. Allora le due molecole correndo con moto accelerato una contro l'altro, ne nasce un urto violento che si manifesta con una elevazione di temperatura, e una parte della massa passa a quello stato che noi diciamo liquido. Le sfere di azione qui non sarebbero che i vortici o le sfere di rarefazione contigue, che si fondono in un inviluppo commune. In quest'urto e in questa riunione la velocità di traslazione resta trasformata in una oscillazione della massa che si manifesta nel calore, che conserva una porzione della medesima a stato elastico. Se avvenga continuamente nuova sottrazione di forza viva, anche questa seconda parte subirà la stessa vicenda, finchè tutto sia ridotto in liquido.

In questo stato sono distrutti i moti traslatorii e le molecole restano ristrette nella sfera delle circonvicine, oscillando in curve chiuse dentro limiti fissati dalla pressione esterna e dalla forza impulsiva interna, ma i loro assi sono ancora liberi per tutti i versi e con rotazioni senza direzione commune determinata. Sottraendo ancora il calorico si avvicineranno ancora più le molecole già formate e sentiranno l'influenza delle rotazioni che tenderanno a mettersi parallele e così riceveranno una orientazione fissa, e senza cessare in tutto il moto di oscillazione, l'aggregato acquisterà una forma definita e inalterabile. In questo secondo passaggio pure una porzione di etere dovrà mutare corso e direzione , e una forza viva dovrà manifestarsi all'esterno che è quella che animava gli assi de'vortici nella rotazione, che dall'essere istantanei o almeno dotati di moti analoghi a quello di precessione passano ad essere permanenti. Ma essendo evidente che la forza viva cessante è assai minore in questo caso che nel precedente , così lo svolgimento del calore deve esser ben minore di quello che ha

luogo nell'altro cangiamento di stato. Tale è la conclusione che già tirammo altrove, e che qui abbiamo voluto ripetere per far veder che coll' intervento del mezzo etereo nulla si pregiudica a quelle conclusioni, ma che piuttosto tutto resta grandemente agevolato.

I limiti delle distanze in cui una molecola può riuscire a essere chiusa nella sfera dell'altra dipenderanno dall' energia della forza impulsiva, e della pressione dell' etere circostante, e questi due elementi devono essere perfettamente definiti in ogni circostanza. Quindi i punti di passaggio da uno stato all' altro devono accadere sempre a temperatura fissa, se la pressione artificiale resta costante, ma varieranno con questa.

I gruppi cristallini poi formatisi per le semplici orientazioni degli assi, devono in virtù delle azioni elementari delle loro molecole agire anche a piccolissime distanze tra di loro, ma con diversa energia nelle varie direzioni secondo le loro forme, e così possono tenere insieme uniti anche quelli de' gruppi vicini che non sono perfettamente orientati come succede nelle aggregazioni confuse. Ciò è facile intendere, perchè ammesso il principio di una azione elementare, la figura del soliduccio risultante esercita per conseguenza meramente geometrica, da per sè sola certe azioni che sono più energiche in un senso che in un altro. Così si spiegano le tendenze de' cristalli agli spigoli, le azioni delle forme filamentose, ecc. ecc. (V. pag. 34.)

Nel passaggio da stato a stato una porzione dell' etere frapposto alle molecole può venire espulso o almeno deve venire diversamente disposto, perchè il suo corso nell'interno del corpo deve essere necessariamente mutato. Quindi gli sviluppi non solo di calorico, mà anche di elettrico che accompagnano il cambiamento di stato delle masse, e le correnti elettriche tratte dai metalli nell'atto della solidificazione, e la variazione di conducibilità in più o in meno

secondo che i metalli si costipano o si dilatano nel passaggio a stato solido (1).

Da tutto questo apparisce che nei liquidi e molto più nei solidi le molecole restano avvolte in una specie di atmosfera commune che è più densa del mezzo che si trova nel loro interno, ossia che nei corpi l'etere è realmente più raro (2). Alle ragioni altrove esposte possiamo qui aggiungere che la grande conducibilità de' metalli (che sono la classe de'corpi in cui il peso atomico è maggiore) può derivare anche dall' essere in essi l' etere meno addensato in proporzione che negli altri corpi, onde quando sono invasi da un torrente estraneo, questo trova più facile la circolazione. Ma è questa una mera congettura.

È cosa notata gran tempo fa da Fusinieri e da Graham, che più si assottiglia per mezzi meccanici o in altri modi la materia, più diviene grande la sua facoltà diffusiva, talchè attraverso le pareti de' mezzi porosi diviene sommamente energica la reciproca permeazione dei gas. E a questa forza diffusiva pure riduconsi que' fenomeni che si manifestano nei cigli assottigliati delle lamine liquide ecc. Questi fatti sembrano mostrare che non è del tutto trascurabile la massa anche nelle azioni moleculari, talchè quanto più le molecole ponderabili sono spogliate della influenza delle vicine circostanti, tanto più facilmente ubbidiscono alla impulsione diffusiva. Ciò s' intende agevolmente nell' esposta teoria, perchè è manifesto che quanto è maggiore la massa ponderabile interna, tanto è anche maggiore la dilatazione relativa del mezzo racchiuso in essa e quindi la pressione esteriore, appunto perchè tal dilatazione diviene maggiore

(1) L. De la Rive ha trovato che all' atto della solidificazione la conducibilità trovasi raddoppiata in tutti i metalli, salvo quelli in cui lo stato solido induce dilatazione, come il bismuto e l'antimonio.

(2) Veggasi anche il già detto a pag. 175 e seg.

quanto più prossimi sono i centri di espansione. Certamente i raggi della parte più energica di queste sfere sono piccolissimi, ma non sono trascurabili gli uni rapporto agli altri, onde più ne sono congiunti e più intenso deve esser l'effetto complessivo. Però attesa quella piccolezza, presto diviene trascurabile nei fenomeni moleculari l' influenza delle masse, e a grande distanza rimane solo l'effetto che costituir deve la gravitazione. Talchè in ultima analisi è la forza espansiva quella che indirettamente produce le attrazioni, in quanto che essa determina uno stato di pressione circostante che è causa di queste attrazioni medesime.

Apparisce qui anche meglio l' indole dei vortici indicati di sopra, che non consistono in semplici mulinelli, ma in veri centri di rarefazione. Questi vortici moleculari devonsi anche distinguere dai magnetici, i quali hanno una estensione notabilmente maggiore, almeno in quanto sono tali da costituire la vera polarità magnetica, onde sono annientati o resi insensibili quando sussistono ancora i moleculari. Tuttavia le due specie di vortici non possono dirsi affatto privi di qualche relazione; infatti distrutto lo stato solido benchè svanisca la polarità, rimane però sempre una facilità di orientazione propria delle ultime molecole dei corpi che li rende suscettibili di sentire l' influenza della calamita. Il magnetismo manifestamente favorisce l' adesione moleculare: e potrebbe darsi così la spiegazione di un fatto curioso, cioè quello della facilità con cui una lima già logora può intaccare il ferro, mentre è incapaee di mordere un corpo più tenero come l' ottone. Nè è improbabile che favorisca anche la coesione. Noi sappiamo infatti che mentre questa forza ha diversi gradi nei corpi , il più tenace di tutti è appunto il ferro in cui sono così preponderanti le orientazioni de'vortici da dargli una struttura anche sensibilmente *fibrosa.*

Ai gradi diversi di queste forze sono dovute le varie facoltà de' corpi che si indicano col nome di flessibilità, viscosità, duttilità, ed elasticità.

L'elasticità comune deriva da ciò, che i gruppi delle molecole possono mutar posto di una certa quantità senza uscire dalla mutua sfera, e cessata la causa pertubartrice possono ritornarvi più o meno esattamente, per l' azione delle forze sollecitatrici (1). Essa è dunque un effetto secondario delle forze primitive, e non deve punto confondersi con quella che si disse elasticità propria degli atomi, e che è dovuta unicamente alle proprietà meccaniche dei moti elementari rotatorii. Per non aver fatto questa distinzione taluno, molto a torto, ha dichiarato assurdo che l' elasticità potesse provenire dalle rotazioni. Se si intenda ciò di quella elasticità che entra in giuoco nelle molle o nelle palle d'avorio, ciò è giusto: non sono le molecole palpabili delle sostanze quelle che ruotano visibilmente per produrre direttamente il rimbalzo di due palle elastiche o per raddrizzare le lame; un tale effetto è prodotto solo indirettamente da esse, in quanto che le rotazioni atomiche danno origine alla atmosfere moleculari indicate di sopra, dalle quali poi dipende quel rimbalzo. Anzi le molecole de' corpi gassosi, se non sono veri atomi elementari, possono avere la loro elasticità dovuta a questo principio. Noi quì però parleremo principalmente de' solidi.

In una certa qualità di corpi questa elasticità ha un limite che non può sorpassarsi senza produrre una discontinuità, come sono il vetro, i cristalli diafani ecc.: in altri invece si può spingere lo spostamento oltre quel limite e allora senza che le molecole ritornino in tutto al posto di prima, ritengono in parte la nuova disposizione che loro si è data. Questi sono generalmente i metalli e tal proprietà forma la *plasticità* e la *duttilità*. La cagione di questa differenza è manifestamente connessa col moto dell' etere nell' interno de' corpi.

Noi vediamo che quelli della prima specie sono gli isolanti,

(1) V. ciò che si disse già sulla definizione dell' elasticità pag. 186 e 187.

e quelli della seconda conduttori. Sonovi è vero a questa divisione delle eccezioni, ma, per la prima specie di sostanze, queste spettano per lo più a combinazioni assai complicate, come sono quelle di origine organica,e per la seconda ad alcuni minerali di aspetto metallico, come certi cristalli i quali si sa dall'ottica che contengono l'etere già costituito in istato di inegual densità. Però la suddetta regola vale per la grande maggioranza de' corpi e specialmente per gli elementari.

Ora questa connesione non è difficile a intendersi nella nostra maniera di considerare l'influenza dell'etere sulla coesione. Nella prima specie di corpi esso ha un moto minimo e impedito, e perciò disturbata che sia la posizione relativa di una molecola e tolta in parte dalla sfera della vicina, non potrà esso correre a riempire quel vacuo e a ricostituire una pressione conveniente per impedirne lo stacco. All'incontro nei corpi conduttori questo movimento facendosi prontamente, potrà costituirsi un nuovo stato di atmosfere diverso dal primitivo e resteranno le molecole in quel nuovo posto che gli hanno dato le forze estrinseche almeno dentro certi limiti. Accade quì in parte ciò che accade in un ammasso di polveri che quantunque per una forte pressione possano ricevere la forma di solido compatto, esso però facilmente si spezza e si disgrega, ma se vi sia misto un liquido scorrevole, che renda il tutto pastoso, la separazione sarà più difficile e potrà mutare di forma senza disunirsi, perchè il liquido colla sua mobilità passando da una parte all'altra può ristabilire il legame tra le parti spostate mediante la capillarità.

Riandando i vari punti di opposizione tra i corpi metallici e non metallici toccati in quest'opera, si troverà che la mobilità dell'etere nell' interno de' primi offre la spontanea spiegazione di una moltitudine delle loro proprietà di cui non si saprebbe altrimenti trovare la ragione, e non è ultimo merito di questa teoria il collegare le proprietà ottiche ed

elettriche dei corpi colle loro proprietà moleculari. Così la duttilità e la malleabilità de'metalli e la suscettibilità di stenderli in foglie finissime, come l'oro, sono dipendenti dalla mobilità dell'etere nel loro interno, e perciò i più plastici e duttili sono anche migliori conduttori dell'elettrico, come i metalli nobili.

Tutte queste però sono proprietà secondarie e negli atomi primitivi realmente esse non hanno luogo: questi non sono nè duttili, nè elastici, nè flessibili, essi ubbidiscono unicamente alle leggi de'corpi duri, tanto pel moto traslatorio che rotatorio, ma dalla loro aggregazione mediante la forza di proiezione da cui sono animati, e la pressione esterna che ha luogo nei loro gruppi, nascono tutte queste proprietà de' corpi.

Il fisico pratico però il cui scopo è *ordinare* i fatti e ridurli ad un principio solo comune, (nel che consiste ciò che dicesi ordinariamente *spiegarli*), si contenta di prendere queste forze che realmente sono secondarie, come primarie. Così p. es. considerando l'elasticità come una forza primitiva che richiami le molecole al loro posto, fa le applicazioni del suo principio ai casi diversi, e ai vari modi in cui può esser turbato l'equilibrio dell'aggregato quando è lineare, superficiale o solido, e secondo che la causa perturbatrice agisce per trazione, per torsione, per compressione e simili. Esso è pago di far vedere che tutto dipende unicamente da quel fatto primitivo che le molecole sono richiamate al loro posto con certe leggi, appunto come l'astronomo fa colla gravità. Ma ciò non basta a dimostrare che la forza sia veramente primitiva, e potendo esser meramente secondaria, resta al filosofo l'investigare il modo con cui può questo accadere. Considerando poi il modo esposto con cui si generano le attrazioni, si viene realmente a vedere la giustezza del paragone fatto dal Lamè tra le due forze dell'elasticità e della gravitazione (1), e quanto sia ragio-

(1) Veggasi Lamé nel luogo citato al principio di questo §.

nevole che ambedue queste forze derivino dall' azione di una causa comune.

Ovunque esiste squilibrio delle pressioni moleculari in qualche direzione, in quella si esercitano le attrazioni, e tale è il caso delle superficie libere, le quali specialmente danno luogo ai fenomeni conosciuti sotto il titolo di *capillarità* e *diffusione*. La prima come bene avverte Fusinieri non è che un caso della seconda. I veli liquidi che si spandono con grande facilità sulle superficie fluide, si spandono anche sopra i solidi, quando siano in certe condizioni che diconsi communemente di affinità, e bagnandoli e diffondendosi danno alla superficie del fluido certa forma che poi aiuta essa stessa la salita ulteriore nei tubi capillari. La condizione detta di affinità deve dipendere dalla struttura relativa delle atmosfere moleculari, che messe al contatto si fondono più o meno facilmente in una sola: da essa nasce una diffusione, che quando opera sopra una sostanza facilmente disgregabile, come per es. un sale, il liquido lo scioglie e se ne carica fino a quel punto, che la forza diffusiva eguagli la intensità delle forze di orientazione che ritengono unite le molecole del cristallo, e che potrebbero in qualche senso dirsi forze polari.

Questi fenomeni formano un passaggio naturale tra l'azione detta puramente moleculare e l'affinità chimica.

Queste due forze non sono realmente di origine diversa, ma solo si esercitano in modo diverso per la diversità delle masse che vengono a contatto. Nelle attrazioni omogenee essendo tutte eguali le masse centrali e le atmosfere circostanti, è necessario che tutte insieme siano diminuite di certa quantità di forza viva onde entrino una nell'altra e si formi una atmosfera unica che ne inviluppa molte altre. Anzi i fatti provano che malgrado che le atmosfere siano giunte a quel limite in cui sogliono confondersi, talora vi resta una certa indecisione a penetrarsi reciprocamente, non potendosi dare la preferenza a nessuna in

quei casi in cui l'accostamento succede gradatamente e tranquillamente, come nelle masse d' acqua in seno di un olio che si conservono fluide molto sotto 0°, finchè una causa estrinseca rompa quell'equilibrio instabile.

L' azione chimica invece, operandosi tra masse eterogenee, l' ineguaglianza delle atmosfere deve favorire immensamente tale rottura e penetrazione, e pel principio generale che due corpi di ineguale velocità urtandosi tendono a concepire una velocità comune, sarà facile alle molecole eterogenee e alle loro atmosfere l' unirsi in una sola.

Ammesso questo principio della ineguaglianza di atmosfere, restano spiegate le principali proprietà che mostrano le affinità chimiche de'corpi. Si capisce così come tutte queste affinità siano relative, e che due corpi posti alla stessa estremità della scala delle affinità, p. es. sodio e potassio, non abbiano tra di loro nessuna azione, mentre l'hanno sì energica coi corpi collocati all' altro estremo opposto. Ampère diceva che il calore nelle combinazioni poteva nascere dalla ricomposizione delle due elettricità, e che l'affinità chimica dovea essere in proporzione delle dosi relative del fluido +° e del —°. Ciò molto meglio s' intende con la teoria di un etere semplice, ammettendo che ogni molecola sia circondata da una sfera avente volume e velocità differente, e che la prontezza di fusione sia in proporzione della differenza di questi elementi.

Questa teoria dà pure ragione dell'influenza della temperatura sulle combinazioni chimiche e sulle affinità. Infatti l'addizione di una nuova quantità di forza viva fatta ad una massa pesante per mezzo della elevazione di temperatura, produrrà nelle molecole diversa velocità traslatoria e rotatoria secondo le lor masse diverse. Quindi potrà accadere che due molecole che hanno attorno atmosfere e vortici assai diversi a una temperatura, riescano ad averli quasi uguali ad un altra, e così l' affinità, ossia la facilità di penetrazione delle due potrà scemare; e per contrario quelle che

erano quasi eguali, col variare la temperatura potranno diventare disuguali, e quindi una affinità nulla a temperatura comune, potrà esser assai energica ad un altra. Anzi potrà darsi il caso che un corpo dallo stato di affinità che dicesi esser positivo passi a negativo, rovesciandosi l' ordine della affinità.

Ciò forse potrebbe spiegare come avvenga che mentre un corpo ad una temperatura spoglia una combinazione di un componente, esso poi resta spogliato da quello per una piccola differenza di temperatura, e talora anche alla stessa temperatura precedente. Per es. il ferro al calor rosso decompone l'acqua, cacciando l'idrogeno dalla combina zione coll'ossigene; e al calor rosso stesso, con appena forse qualche grado diverso di temperatura l' idrogene riduce l' ossido di ferro. Or è provato che in quelle azioni che accadono ad una stessa temperatura non è indifferente che sia l'uno o l'altro corpo quello che sta in istato libero per agire sull'altro e decomporlo, ma che molto dipende dall'essere l'uno o l'altro libero o combinato antecedentemente concorrendovi allora la coesione.

Così si spiega ancora perchè nelle combinazioni sia tanto maggiore il calorico svolto quanto più distanti sono i termini sulla scala delle affinità, e come queste scale siano le stesse per le azioni termiche, le elettriche, e le chimiche. Perchè la forza viva resa libera (come si disse al C. I. §. 14) e la quantità di etere squilibrata sarà tanto maggiore quanto più diverse saranno le atmosfere. Ma a tutto rigorgore non si può prendere per misura dell' affinità chimica in ogni caso la corrente prodotta, perchè questa è per lo più solo una parte dell'etere stesso messo in moto, e per usare questa misura bisogna assicurarsi che non vi è perdita da altro lato (V. C. III. §. 4. pag. 259.).

Le azioni chimiche di sintesi sono così ridotte ad azioni meccaniche, e vedemmo come le analisi fatte dal calore e dalla luce ci conducevano a questa stessa conseguenza. Ma

dimostrare l' influenza delle azioni meccaniche sulle operazioni chimiche sono opportunissimi i fatti recentemente dimostrati da Clifton sugli effetti che la pressione esercita nella soluzione dei sali e sulle altre azioni chimiche.

Era già noto da un pezzo che sotto forti pressioni si esercitano diversamente le combinazioni chimiche, così p. es. vi è un limite alla solubilità dello zinco nell'acido solforico posto alla pressione, come pure allo sviluppo dell'acido carbonico. I nuovi lavori mettono ciò sotto un punto di vista più proprio a ridurre a lavoro meccanico anche le azioni chimiche. In genere può dirsi che la pressione ravvicinando le molecole fa le veci di una più bassa temperatura, e come questa influisce per via meccanica sulla affinità, un effetto simile deve ottenere la pressione. Quando poi vengono a conflitto la pressione e l'azione della temperatura, come nel caso della fusione e solidificazione de' corpi, allora dovrà distinguersi un doppio caso, secondo che essi si restringono, o si dilatano. La temperatura del *punto di passaggio* sarà alzata per quelli che si restringono, e abbassata per quelli che si dilatano. Nei primi la pressione fa l' effetto di avvicinare le molecole come una sottrazione di calorico, e perciò dovrà meno abbassarsi la temperatura per ottenere la solidificazione. Nei secondi appunto perchè essa ravvicina le molecole, bisogna sottrarre ulteriore calorico per vincere la pressione oltre le forze ordinarie, quindi l'acqua non gela se è compressa assai, a meno che non sia raffreddata molti gradi sotto lo zero.

Il medesimo effetto ha luogo anche nelle azioni chimiche, e secondo che il volume del nuovo composto si dilata o si restringe, l'azione è rallentata o accelerata dalla pressione. Talchè conclude il dotto Autore « è assai probabile che ulteriori ricerche siano per provare che la pression indebolisce o rafforza l'affinità chimica secondo che agis contro o in favore del cambiamento di volume; come l'azione chimica fossè direttamente convertita in forza m

canica, e la forza meccanica in azione chimica in equivalenti definiti secondo leggi generali, anche senza esser necessario che vi sia connessa per mezzo di calore o di elettricità »

La connessione o come dicesi *correlazione* dell' azione chimica col calore e coll'elettricità è manifesta nei fenomeni della pila da noi già analizzati, e la frase celebre di Faraday che *la corrente è azione chimica in moto*, non potrebbe aver senso altrimenti che considerando l'azione chimica stessa come un fatto di moto meccanico. Malgrado tale evidenza era bene determinare direttamente l' influenza delle forze meccaniche sulle azioni molecolari e chimiche. Quindi l'Autore ha determinato in molti casi la forza meccanica che son capaci di esercitare alcune di queste azioni. Così l'acqua gelando può sollevare 106 volte il proprio peso all'altezza di un metro, e il cloruro sodico e il sal ammoniaco nell'atto della soluzione esercitano un lavoro che per l'uno è 157 volte il suo peso alzato di un metro, e per l'altro 171. Un minerale detto Witherite formandosi esercita uno sforzo capace di alzarne 35 volte il proprio peso all'altezza di 1.^{m} (1).

È da sperare che mettendo in accurata relazione le dilatazioni, le capacità calorifiche, e le tensioni delle sostanze a stato di vapore, si possa rendere ragione di tutti questi fenomeni. Ma per ora noi non possiamo far altro che mostrare come i principii stabiliti bastino a far comprendere il meccanismo de'fatti più fondamentali della scienza.

Facemmo già osservare altrove come l' azione chimica supponga sempre le molecole in quello che dicesi stato di attenuazione o assottigliamento : accennammo anche al fatto fondamentale che le luci emesse dai corpi finchè sono dipendenti dai legami moleculari sono di tutte le lunghezze, cioè sono comparabili ai *rumori acustici*, mentre quando sono in vera volatilizzazione danno onde di determi-

(1) Clifton *Proceedings R. Soc.* London 1863 April. pagina 549.

nata lunghezza simili ai suoni armonici, il che mostra che le molecole vibrano con una perfetta libertà e sono sollecitate da forze in rapporto colla loro massa. La necessità di tale stato libero e sciolto è evidente, perchè una sfera di molecole possa agire sull'altra, e compenetrarsi e ridursi a quella sola che forma la sfera del composto. Quelli che con alcuni dinamisti non vogliono ammettere che *moto* senza l'etere, non potranno ma ispiegare tali unioni senza le forze astratte, che dovrebbero essere della più capricciosa natura.

È poi una necessaria conseguenza de'principii stabiliti il fatto che la forza chimica non si esercita mai a distanza sensibile, e richiede sempre ciò che diciamo contatto; nessun fatto si è ancora scoperto in cui la sua azione si eserciti fuori di questo, e se la presenza di maggiore o minor massa di un corpo agevola le combinazioni, ciò non è che per via indiretta, moltiplicando la diffusione e i punti di contatto.

Dal medesimo principio dipende pure l'eguaglianza degli equivalenti calorifici coi chimici ed elettrici. Vedemmo già che la quantità di calore prodotto dalle azioni chimiche è di definita proporzione per ogni combinazione (pag. 108) e che essa risulta la stessa sia questa celere o lenta, e vedemmo questa quantità rimanere costante pure per l'elettrico, ogni qualvolta tutto il movimento etereo prodotto dalla combinazione può incanalarsi e misurarsi attraverso il filo conduttore, talchè il caso dell'elettrico è subordinato a quello dell'azione chimica. Ora tale corrispondenza s'intende benissimo dover sussistere appunto perchè la forza viva dell'etere rappresenta allora la forza viva messa in moto dalla combinazione, a quella guisa p. es. che a misurare la forza viva di un ventilatore può servire la quantità d'aria che passa pel tubo di incanalamento. Ma per lo più tale misura non è completa, nè può esserlo, dovendosi sempre sottrare la forza viva impiegata nelle dilatazioni sotto forma d'elevazione di temperatura di certe parti del circuito difficili a valutarsi, e quella che risulta dal non esse-

re dotati di eguale forza di coesione i prodotti generati nella combinazione chimica ordinaria e per mezzo della pila, e finalmente per la diffusione inevitabile dell'elettrico per tutti i corpi. La scoperta di Clifton che l' azione chimica risolvesi in potenza meccanica nei diversi solidi, può dar ragione delle perdite dell'equivalente calorifico che si trova in molti casi tra l' azione chimica ordinaria e l' azione voltiana, bastando a ciò che sia alquanto diversa l' aggregazione moleculare delle sostanze che risultano nei due casi, perchè per formarsi così assorbiranno diversa copia di potenza, e, come dice Clifton, la *renderanno latente* in quantità diversa (1). Quindi malgrado tutte le diligenze accade che generalmente la misura della forza viva sotto forma di elettrico si trova minore di quella misura che si ha sotto l'aspetto di agitazione termica nelle operazioni ordinarie.

In conclusione la forza viva propria delle singole molecole resa libera in maggior o minor quantità nelle diverse combinazioni è la sorgente delle azioni meccaniche prodotte dalle azioni chimiche, la quale per lo più si manifesta sotto forma di dilatazione di materia ponderabile nelle operazioni ordinarie: ma nelle combinazioni voltiane questa si trasmette per mezzo di movimento etereo, originato ancor esso da dilatazione e disequilibrio dell' etere medesimo.

Oltre la diversità di volume delle atmosfere e della estensione delle loro rotazioni, potrà contribuire molto alle combinazioni l'andamento ritmico delle loro oscillazioni primitive. Se queste oscillazioni si trovino in dissonanza completa, sarà *ceteris paribus* più difficile la loro unione, ma se siano all' unisono, o almeno abbiano tra loro un rapporto nella durata dell' oscillazione che porti una coincidenza di tanto in tanto, esse potranno benissimo oscillare come un

(1) Gioverà qui ricordare ciò che si disse sulla potenza meccanica del calorico in ordine alla coesione de' corpi nel C. I. §. 12 pag. 81 e segg.

corpo solo, e agire come una massa unica. Siccome poi secondo le diverse masse deve diventare diverso il periodo della vibrazione quando si aumenta la forza viva calorifica, quindi anche da ciò deve derivare una differente disposizione delle molecole ad unirsi secondo le temperature, perchè due sostanze che hanno una oscillazione sincrona a una temperatura l'avranno probabilmente opposta ad un'altra. Onde si vede che ampio campo offra la teoria meccanica del calorico, congiunta colla presenza dell'etere per la spiegazione dei fenomeni chimici in apparenza così bizzarri. Probabilmente gli studi spettrali arriveranno un giorno a verificare praticamente queste conclusioni, mostrando delle relazioni tra le lunghezze delle onde elementari luminose prodotte dalla combustione di un corpo col suo grado nella scala di affinità cogli altri che danno onde diverse.

Diversità adunque di volume nelle atmosfere, e coincidenza di ritmo nelle oscillazioni sono le due cause principali che provocheranno la riunione de' corpi eterogenei, ossia l'azione chimica, ma costanza di *massa* come costanza di *energia* o *forza viva* deve essere il carattere essenziale che le regoli tutte.

Secondo questi principii l'intensità delle affinità deve divenire più debole, a parità di circostanze, a mano a mano che si aumenta il numero delle molecole che formano la molecola composta, perchè queste molecole possono paragonarsi a un vortice in cui ne sono molti altri interiori, che facilmente può sciogliersi aumentando l'energia delle rotazioni che lo compongono: e inoltre più si aumenta il diametro più diminuisce la pressione e la velocità della rotazione. Questo spiega perchè certi corpi sopracomposti, e specialmente gli organici siano sì facilmente disciolti dal calore, e come la vita organica che tutta si fonda sopra queste composizioni più complicate abbia bisogno di certo grado di temperatura in limiti assai ristretti, fuori de' quali

non può esistere. Quindi la vita vegetale è limitata geograficamente secondo il clima, e se nell'animale è meno ristretta la stazione geografica, ciò devesi all'avere questa classe di esseri nel loro interno una sorgente di temperatura che li rende in gran parte indipendenti da quella dell'ambiente. Ma tutti sanno come in ciascun animale il grado della sua temperatura vitale sia quasi matematicamente costante. La provvidenza prese infinite cautele per tutelare questa costanza nel loro interno provvedendoli di inviluppi esterni isolanti e cattivi conduttori, e mettendo nella traspirazione ed evaporazione del loro sudore una sorgente potente di raffreddamento, che dissipa l'eccessivo calore prodotto dallo straordinario esercizio e lavoro delle loro membra.

Tale è la ragione che si può dare de'principali fatti della chimica. Noi non entreremo nei casi particolari di ogni combinazione che sarebbe cosa infinita, e sempre ipotetica nello stato attuale della scienza, e ci limiteremo a risolvere alcune difficoltà che potrebbero trarsi contro la predetta teoria da alcuni fatti più comuni. Si osserva sovente che certi corpi possono stare a fronte l'uno dell'altro anche sotto pressioni fortissime senza combinarsi, e che sopravvenendo poi un urto meccanico, o una vibrazione luminosa, o una scintilla elettrica, incomincia la combinazione con una rapidità prodigiosa. Tal fenomeno può spiegarsi col principio che per vincere l'inerzia della circolazione delle singole atmosfere, ossia mutare la direzione del loro corso individuale si esige un impulso assai forte, e che una pressione anche enorme, ma distribuita su tutta la massa, benchè le sforzi tutte, appunto perchè ripartita su di tutte, non vince la resistenza di nessuna. All' incontro una scintilla elettrica, o altra delle cause indicate, operando in un piccol sito violentemente, le disrompe e così ne facilita l'unione. La forza viva così eccitata promuove la combinazione delle vicine, e quindi si propaga a tutta la massa. Così vediamo che una vôlta regge a pressioni enormi,

ma dischiavatane una pietra tutto crolla l'edifizio: così un vaso di vetro regge a forti pressioni, ma si spezza a un piccolo colpo dato in un punto solo.

Tali novelli equilibrii, specialmente se accadono dopo uno stato di tensione, sviluppano comunemente una quantità immensa di calorico, ed è ben facile il capire che tali nuovi aggregamenti non potendo aver luogo senza enormi agitazioni interne , deve risultarne quel tremito nella massa che costituisce l' elevazione di temperatura: ma ricordiamoci che questo calore che fà certi effetti meccanici assai violenti non differisce in quantità di lavoro da quello che accadrebbe se quelle combinazioni si facessero lentamente. Quindi in questi casi non varia che il *tempo* in cui si fa il lavoro, ma non la sua quantità assoluta.

Queste azioni meccaniche esterne possono anche provocare delle analisi in quei sistemi in cui per la grandezza del diametro dell' inviluppo è diminuita assai la velocità rotatoria, e con ciò la differenza tra la velocità del vortice stesso e quella del mezzo circostante è assai piccola, onde è molto facile a penetrarne l'inviluppo mediante ogni minima forza. Tali combinazioni saranno facilmente decomponibili per mezzi assai deboli come percussioni, vibrazioni, scintille , e allora rotto quel giro in un punto le molecole elementari prenderanno facilmente il loro stato normale, e talora anche con grande rapidità. E ciò può dare la spiegazione di molte esplosioni e singolarmente dei fulminati di argento, e di mercurio, che sono combinazioni sommamente forzate ed instabili all' eccesso. La potenza meccanica svolta da tali azioni non sarebbe da cercarsi nella minima causa meccanica, che ne è occasione, ma nella potenza stessa che anima le molecole, le quali sono veri depositi di immensa forza viva, a confronto della quale sono ben piccole le azioni meccaniche comuni (1).

(1) Così la forza viva di un corpo cadente non devesi cercare nella piccola potenza che tagliò la fune che lo reggeva, ma nella gravità che lo sollecita.

Veggasi ciò che dicemmo della potenza meccanica a cui equivarrebbe l' azione calorifica impiegata a dissociare l'acqua, e si comprenderà che non è una assurdità il supporre immagazzinata nell'interno de'corpi una immensa quantità di lavoro o forza viva che si sviluppa in queste occasioni. La potenza di una data massa d'acqua che gela in un secondo di tempo è tale, come dicemmo, che è capace di alzare all'altezza di un metro 106 volte il proprio peso, ossia alzare questo a 106 metri nello stesso tempo, quindi essa esercita un lavoro che è quasi undici volte quello di tutta la massa terrestre alla sua superficie! e in un chilogrammo di carbonio che passa a stato di vapore, il lavoro interiore sarebbe 3 910 400 chilogrammetri (Duprè).

L'azione reciproca delle atmosfere può dare ragione anche dell'effetto che produce la presenza di un terzo corpo che spesso serve di anello intermedio alla combinazione di due estremi senza che esso resti in combinazione, fenomeno che rassomiglia all'azione del metallo negativo nella pila: forse due atmosfere che non si unirebbero direttamente perchè troppo discordanti in vibrazione, coll'intermedio di un' altra possono arrivare all' unione. Talchè non parrà assurdo il comparare le molecole di questi corpi ai pezzi di trasporto del moto nelle nostre macchine.

Finalmente questa teoria dà ragione della pressochè indistinta limitazione che regna tra l' affinità chimica, e quella che dicesi attrazione moleculare, tra le quali due forze và sempre più svanendo ogni dì quella barriera che erasi elevata, e si vede che l' azione omogenea può spesso favorire le azioni chimiche: non già per le azioni predispositive come si credeva, ma perchè quando un corpo esce dalla combinazione in istato solido si toglie di mezzo della massa, e così cessa di impedire l'azione del resto, genera movimenti che facilitano il mescolamento delle parti, e svolge calore, col che accelera e facilita la combinazione delle altre parti. Una vera azione predisponente è assur-

da, perchè sarebbe l'effetto della attrazione omogenea che precederebbe l'esistenza del composto stesso, cioè l' effetto precederebbe la causa.

Malgrado però la fecondità di questa teoria noi non ci illuderemo a segno di credere che sia giunto il momento da poter valutare in *numero, pondere et mensura* tutte le reazioni chimiche per via dinamica. Resta ancora un arduo cammino per arrivare a tanto, ma giova spesso dal punto elevato di una teoria additare una novella via. I fatti chimici si cominciano già a studiare sotto questo rapporto, ed è da sperare che presto potrà crearsi una meccanica moleculare completa, come si ha una meccanica celeste. Ma non dobbiamo dissimulare che le difficoltà sono immensamente maggiori, e che non sarà dato alla presente generazione il mirare sì bel trionfo dell'umana intelligenza.

Quello che noi possiamo fare è di cercare le relazioni meccaniche e i coefficienti di conversione di una di queste forze in un' altra. Questo difficile lavoro è stato incominciato ed è da sperare che verrà proseguito ed ampliato (1).

Lavoisier coll' introdurre la determinazione esatta dei pesi in chimica fondò questa scienza dal lato delle masse,

(1) Mentre sto per mandare in torchio questo foglio ricevo il vol. I. 4ª ser. degli *Ann. de ch. et Phys.* Ove trovo che il sig. Duprè estende al calorico svolto nelle combinazioni chimiche le considerazioni che il Cantoni avea dato per le variazioni dei solidi guardando ai volumi invece delle masse. La legge che esso trova è questa « quan» do due corpi si combinano e formano un litro di composto pre» so allo stato gassoso, il lavoro chimico, o (quello che è lo stes» so) il calorico prodotto é un multiplo di un numero fondamen» tale costante Q che sorpassa pochissimo una calorìa. » il medio di Q è 1, 019 per dieci diversi corpi esaminati. Operando adunque a volumi, le azioni chimiche svolgerebbero quantità di calorico multiple una dell'altra con numeri molto semplici. Così l'ac. idroclorico dà 1, l'acqua e l'ossido di carbonio 3, l'ac. solforoso 4 ecc.

ma essa resta ancora a fondarsi da quello delle velocità, donde dipende la forza viva o la misura dell' *energia* : quando sapremo valutare con esattezza nei singoli casi anche questa, allora sarà conosciuta a fondo la costituzione dei corpi, e la meccanica moleculare. Allora si vedrà con rossore quanto sia barbaro il dire, come si fa comunemente, che nella chimica vi sono operazioni capricciose, bizzarre ecc. In tali formole non v'è di vero che l' espressione della nostra ignoranza.

§. 5.

Gravitazione universale.

La gravità ci si mostra principalmente sotto due classi di fenomeni: uno è la caduta de'corpi alla superficie della terra, l'altro il moto curvilineo de'corpi celesti attorno ai loro respettivi centri. Il mostrare l'identità della causa di questi due effetti tanto disparati fu opera del genio di Neutòn, e benchè prima di lui si avesse qualche idea di una forza che reggeva il corso de'pianeti, però il suo concetto preciso, la sua legge e la identificazione colla gravità terrestre non erano state dimostrate da nessuno.

Dopo che Ticone colle osservazioni delle comete ebbe dimostrato che non esistevano sfere solide, si cercò una causa che ritenesse i pianeti nelle loro orbite. Copernico intento a semplificare e rettificare le leggi geometriche del sistema planetario, non si occupò di questo soggetto che incidentemente, e notò solo che la materia in genere avea tendenza di conformarsi in sfera, onde i corpi tendevano al centro della terra non come a centro del mondo, ma come a centro di sfera.

Galileo scoprendo le leggi dei gravi dimostrò che tutti i corpi erano egualmente attratti, ossia sollecitati dalla terra, e sbandì per sempre la differenza de' corpi gravi e leggieri, colle tendenze alle varie sfere ecc.

Keplero il cui passionato genio di scoprire voleva a tutti i costi espugnare il secreto de' moti celesti, guardò il sole come centro di moto insieme e di forza, e non dubitò asserire che da esso proveniva la *virtù* che riteneva i corpi nelle loro orbite, come da esso proviene la luce. Le idee confuse che allora si avevano sulla luce stessa, non gli permisero di formarsi nessun concetto adequato di tale azione, e volendo dedurre questa forza dall'operazione illuminante, non seppe superare la difficoltà de' corpi opachi, onde ricorse al magnetismo. Egli immaginò il sole come un potente magnete, che riteneva i pianeti nelle loro orbite: non però fece uso della sua forza *attrattiva* (1), ma ne immaginò una direttiva proveniente dai suoi raggi portati in giro per la rotazione solare divinata da lui prima che si osservasse. E più esplicitamente ancora viene a dire doversi considerare i pianeti come immersi nel vortice etereo che circonda il sole, e che da questo dipende la sua azione magnetica. Le idee di Gilberto sulla attrazione della terra che come un gran magnete poteva ritenere la luna, e della luna che agiva sulle acque del mare altresì per potenza magnetica, che allora era il simbolo più ovvio delle forze attraenti, convalidavano queste speculazioni di Keplero, il quale deve veramente riconoscersi l' autore di que' famosi vortici che poscia Descartes seppe rendere così popolari.

Questi sistemi partivano tutti da un principio falso, cioè che fosse mestieri ammettere una circolazione materiale di qualche sostanza attorno al centro per ottener il moto di trasporto del pianeta. Non avevasi ancora l' idea netta del modo di generazione di un moto curvilineo per mezzo della combinazione di un impulso istantaneo con una forza continua centrale. Il primo esempio di questa composizione di moto fu dato per la parabola da Galileo, e tro-

(1) Keplero *De stella Martis* lib. III. cap. XXXIV. pag. 176. lin. 22 e cap. LVII. pag. 185.

vasene in Borelli una seconda bella applicazione al moto circolare, ma non così limpida. Quest'autore fa vedere come la forza centrifuga che nasce in ogni moto circolare può arrivare a bilanciare la centrale che sollecita il corpo, la quale può essere il magnetismo o la gravità, e cerca perfino di provarlo con esperimenti (1). Anzi arriva a fare il gran passo di dire, che nè intelligenze, nè magnetismo, nè etere di diversa densità in cui galleggi il pianeta propriamente sono necessari per spiegare i moti planetari, ma basta una tendenza simile a quella che hanno tutti i corpi a cadere verso la terra, e che questa tendenza deve ammettersi in ciascun pianeta verso il sole e in ciascun satellite verso quel corpo che esso circonda, colla giunta di un impulso come nella fionda. Ma quando si tratta di considerare questa seconda forza egli non ha idea esatta dell' inerzia per cui possa sussistere il moto senza esser rinnovato, e sembra ricorrere al vortice etereo.

L'opera di Borelli usciva quando Neuton era al principio della sua carriera, e gli studi di meccanica erano al loro più alto auge. Ugenio in Francia si occupava specialmente delle forze centrifughe. Halley diffondeva il sistema Kepleriano, Hook avea perfino ottenuto coll'esperimento de'moti ellittici (a quanto sembra attorno al centro e non al foco) e avea detto seguendo Bulliauld, che la forza planetaria dovea esser in ragione inversa del quadrato delle distanze, rettificando così l'inconcepibile errore di Keplero, che l'avea fatta in ragione inversa semplice.

Quando la scienza si trova in tal periodo di attività, un genio possente che si impadronisca dei materiali informi e imperfetti, li riduce a forma novella e profittando degli spiragli dischiusi a grande stento da suoi predecessori, si apre una profonda breccia, e si crea una nuova car-

(1) Borelli *Theorice Medicaeorum planetarum* Florentiae 1666 pag. 47.

riera che riesce feconda delle più inaspettate verità. Tale fu Neuton il quale non solo fu grande, ma fu anche fortunato, perchè si trovò in epoca in cui il problema da lui sciolto era quello per cui tutto era preparato.

Prima di lui la forza di gravità si credeva risiedere nel centro dei pianeti,

Al punto
A cui si traggon d' ogni parte i pesi.

Egli invece dimostrò esser propria di tutte e singole le molecole, e reciproca per tutte le parti della materia terrestre e planetaria. Per mezzo delle orbite cometarie che sono regolate dalla stessa forza, e colla terza legge di Keplero dimostrò che la forza che riteneva i pianeti nelle loro orbite non poteva derivare dai vortici, come li immaginava Descartes e tutto ridusse a due forze, cioè l' inerzia che coll' impulso primitivo costituiva l'elemento tangenziale, e la continua centrale, che era la gravità commune. Questa forza era inseparabile dalla materia e decrescente come tutte le emanazioni sferiche in ragione del quadrato della distanza.

Ma col ridurre la forza planetaria alla gravità terrestre , e col mostrarne la legge di azione , la sua natura non fu resa punto più chiara , benchè se ne estendessero i limiti fino all'estremo più remoto del creato. Anzi Neuton stette in ciò sempre sulle generali e non assegnò nessuna origine positiva a questa forza (1) : l' assunse come un fatto, cioè che l'accelerazione di un corpo verso un altro, ossia la velocità che esso acquisterebbe nella prima unità di tempo, se l'intensità restasse costante per tutta quella unità, è in ragione inversa del quadrato delle distanze. Questa velocità fu chiamata forza acceleratrice , non per indicare nessun principio speciale risedente nei corpi, ma solo perchè essa è l'effetto e la misura della causa del moto, qua-

(1) Vedi sopra C. II. §. 3. pag. 151.

lunque poi essa sia (1). Lo spazio corrispondente a questa velocità sulla superficie terrestre è quello che percorrono i gravi cadenti nel primo secondo di tempo, nelle orbite dei pianeti è quello di cui essi si scostano dalla tangente. La geometria non dice di più, il resto è speculazione filosofica, e Neuton non negò che questo spazio potesse esser descritto per l'impulsione di un mezzo, come già dicemmo altrove.

L'ignoranza della causa non pregiudicò punto alla scoperta delle leggi geometriche de'moti celesti, e assunta l'accelerazione come un fatto, si potè dar conto di tutta la meccanica degli astri colla precisione delle osservazioni astronomiche le più perfette, non chè del flusso e riflusso del mare, della figura della terra, dell'attrazione delle montagne ecc. E restò chiarito, che quella che Gilberto e Keplero aveano considerato come opera di magnetismo, era effetto di quella tendenza con cui i gravi cadono verso la terra, come avea accennato Borelli.

La nessuna necessità, pertanto, di conoscere la causa di questa forza, e la grande difficoltà di assegnarne un'origine ragionevole, distolsero finora i fisici da queste speculazioni, anzi generalmente parlando, si sarebbe creduto di pregiudicare alla propria riputazione col tentarne la spiegazione. Gli astronomi han cessato di occuparsene, e come cosa spettante la cognizione della materia, il problema è stato devoluto ai fisici, i quali in questi ultimi tempi han cominciato a non mostrarsi tanto abborrenti da tale ricerca come dianzi, e noi più volte l'abbiamo già indicato. Il loro linguaggio a questo proposito è molto meno riservato, e senza formulare ancora una soluzione definitiva, si tiene per certo esser possibile ridurre a un solo principio per l'a-

(1) « Colla parola *forza* io intendo una pressione che produce un effetto sul moto de' corpi che sono liberi » Così Airy *Six lectures on Astronomy at Ipswich ecc.* pag. 112.

zione meccanica di un mezzo tutte le forze della natura, non esclusa la gravità.

Incorraggiti da tale tendenza noi ardiremo di proseguire l' induzione incominciata fino a spingerla anche a questo supremo assunto. Noi per ciò non abbiamo bisogno di introdurre nessuna novella ipotesi, nè fondare nuove teorie. I principii generali esposti nel §. 3. di questo capo medesimo, intorno al modo con cui può avere origine una attrazione, bastano al bisogno qualora siano applicati. Abbiamo ivi veduto che ogni molecola ponderabile è un centro di moto, e con ciò il centro di una sfera di densità crescente dal centro alla circonferenza nell' etere circostante. Si è veduto che da questa diversa densità deve nascere una diversa facilità di trasporto di due punti qualunque immersi nelle due sfere compenetrate, che si risolve in un avvicinamento reciproco, ossia in una apparente attrazione. Non per una vera forza impulsiva derivante dall'estrinseco, ma per la legge generale del moto, che quando un corpo urta due altri di masse ineguali, più si sposta dal lato del minore che del maggiore , e qui lo strato di minor densità tien luogo del corpo minore.

Quello che si dice de' singoli centri deve anche dirsi di un complesso qualunque de'medesimi, e perciò ogni corpo finito qualunque, e ogni pianeta essendo l'aggregato di uno sterminato numero di tali centri, formerà attorno di sè una sfera in cui la densità dell' etere sarà tanto minore quanto è maggiore il numero de'centri stessi, onde la forza risultante sarà in proporzione di ciò che noi diciamo *massa* e decrescerà per ciascun centro sempre colla sua legge elementare, ma nel complesso potrà variare secondo la forma del volume e la distribuzione delle parti. Se un altro pianeta o un corpo qualunque le cui particelle siano dotate di movimento consimile, sia immerso in questa sfera, la risultante de'moti moleculari dei due li trasporterà uno verso l'altro sulla linea che li congiunge come si è detto

de' due centri elementari, perchè su quella linea trovasi minima le resistenza ai respettivi moti. La gravità viene così ridotta in certo modo a un effetto di pressione statica, ma questa differenza di pressione medesima è manifestamente originata dal moto.

Essa differisce dal magnetismo in quanto che questo è fenomeno in stretto senso dinamico, e dipendente oltre la differenza di pressione dalle direzioni delle rotazioni del mezzo. L'azione di una calamita sopra un ferro si indebolisce se le se ne presenta un altro, perchè la sua forza viva distratta sul secondo non è più sufficiente a fare lo stesso lavoro sul primo: ma nella gravità non cessa l'attrazione su di un corpo per presentarglisene un altro, perchè essendo essa prodotta al modo indicato, ciascun corpo opera da sè e non desta nessun moto nuovo nell'altro, ma solo nel mezzo contiguo, e questo moto è sempre lo stesso vi siano o no altri corpi a distanza. Soltanto se questi sono disposti in modo che le loro azioni cospirino, l' attrazione sarà aumentata, e sarà diminuita se siano operanti in senso sfavorevole.

La gravità ha qualche analogia coi fenomeni elettrostatici, perchè anche questi si risolvono in una pressione. Ma la maniera di sussistere delle due forze sarebbe differente, poichè per l' elettrico sarebbe un mero stato accidentale dipendente dall' accumulamento dell' etere e dalla sua condensazione o dilatazione, e potrebbe appunto paragonarsi a un moto eccitato in mezzo a un fluido in quiete, che tende a divenir insensibile colla diffusione; mentre per la gravità questo stato di rarefazione dipendendo dall' energia stessa primordiale impressa alle prime molecole della materia che tutta ne è animata egualmente, non può estinguersi. Può concedersi però che sotto un certo aspetto può dirsi la gravità dovuta ad uno stato elettrico nel senso cioè dell'essere nei corpi ponderabili l'etere più rarefatto come a un dipresso lo è negli elettronegativi. Quindi ne

seguirebbe che sotto questo rispetto la terra e un astro qualunque rapporto allo spazio sarebbero in istato di elettricità negativa: cosa la quale non siamo noi i primi a dire; ma questo sarebbe in senso latissimo, perchè noi per stato elettrico intendiamo quello squilibrio che nell'etere si desta artificialmente per operazioni avvenitizie, e non quello che accompagna l' esistenza stessa della materia. Onde in generale, e semplicemente, non è da confondere la gravità colla elettricità.

Così pure non deve confondersi la gravità colla luce o col calore, perchè quantunque amendue provengano da agitazione moleculare, pure si comportano diversamente nella modificazione del mezzo. Infatti la luce e il calorico radiante sono dovuti alla vibrazione che è l'effetto dell'elatere, e questo se si considera nei complessi è meramente un fenomeno secondario, come si disse già nel §. precedente, se poi si considera negli atomi è un rimbalzo dovuto al moto rotatorio combinato col traslatorio. In ambedue i casi il suo effetto è di trasportare completamente la forza viva da uno strato all'altro del mezzo, lasciandolo in riposo dopo passata la concussione. La dilatazione invece da cui dipende la gravità ha origine nei moti atomici di progressione: essa continua a sussistere per la forza di proiezione che anima le molecole o gli atomi e li tiene disgiunti : l' effetto de'successivi impulsi non si annulla, ma si somma coi precedenti, finchè la reazione reciproca de'varii centri o vicini o remoti operanti in senso contrario vi ponga un termine. Questa dilatazione elementare attorno a ciascun centro non potrebbe sparire che col distruggere il centro stesso di movimento, e allora il mezzo rientrerebbe *col tempo* in un nuovo equilibrio, come a un dipresso quando si scarica un corpo elettrizzato il mezzo si compone a nuova distribuzione.

Se ciò si tenga ben fermo , si vedrà che la gravità deve essere affatto indipendente dalla temperatura , per due ragioni : 1.° perchè le variazioni termiche ap-

partengono principalmente ai movimenti della materia pesante e non propriamente a quelli dell' etere; 2.° perchè coll'aggiungere forza viva a un sistema, il nostro lavoro si riduce ad allontanarne i centri e con ciò otteniamo solo l'effetto che *la gravità sia diminuita in certo spazio definito*. Perchè se un cubo, per esempio, di un metro di lato venga riscaldato, il suo volume crescerà, e una porzione di materia sarà espulsa dal volume del metro cubo, e realmente in quel metro cubo *vi sarà minor gravità.* Sotto questo aspetto può dirsi che il calore diminuisca la gravità nello spazio, diminuendo la quantità di materia pesante che può stare in un dato volume. Ma ciò non può alterare le atmosfere primitive prodotte dal moto primordiale, e anzi suppone che sussistano e si rinforzino, e allontanandosi i loro centri si ottiene che cessino certe influenze dovute ai mutui inviluppi o vortici di cui abbiamo detto nell'articolo precedente: ma sempre apparisce che restar deve inalterabile il primo centro di moto e con ciò la gravità nei centri stessi, *benchè essa vari pel calore dentro uno spazio di determinate dimensioni.*

Ciò deve dirsi considerando la cosa del lato teorico: che se la consideriamo dal lato pratico, cioè dal sapere sperimentalmente se la gravità sia assolutamente inalterabile dal calore o dalla energia termica, dobbiamo dire francamente che è una di quelle cose che dall' osservazione non si è ancora decisa. So che ciò si assume, ma ignoro con che fondamento rigorosamente sperimentale. Infatti le sperienze nostre si limitano a escursioni ben piccole della scala termometrica, ossia a piccole variazioni di forza viva rapporto a quella che anima le molecole, il che risulta dai confronti più volte fatti tra le energie assolute delle forze vive moleculari colle loro variazioni. Inoltre la gravità è una porzione così minima di quella forza che costituisce le attrazioni moleculari, che ancorchè noi potessimo alterar queste forze migliaia di volte più che non facciamo, non risul-

terebbe effetto sensibile. Ricordiamoci che l'attrazione reciproca di due chilogrammi di materia aventi una densità eguale alla media dell'acqua, posti a un metro di distanza, e riportata al metro e al secondo di tempo è 0, 000000,000069,30 (1). Questo solo basterà a far vedere quanto siamo lungi dal poter stabilire se la gravità non sia alterata dalla temperatura; perchè a tale effetto dovremmo conoscere il valore di questa forza con una precisione ben superiore a quella a cui possiamo arrivare coi nostri sperimenti. Pei pianeti poi non sappiamo punto se questo elemento entri o no in quella costante che dicesi *massa*, e nelle sperienze ordinarie de' pendoli o delle attrazioni di masse speciali, come in quelle di Cavendish, non si è raggiunta ancora precisione sufficiente, nè le ricerche si sono fatte con differenze di circostanze abbastanza diverse per riconoscerla.

Che se qualcuno insistendo dicesse, che pure dalle operazioni termiche dovendo nascere squilibrii di etere, dovrebbe alterarsi la gravità, noi risponderemo che appunto quando accadono tali mutazioni, possono attribuirsi ad essa gli squilibri di elettricità, la quale contrasta alla gravità e ne supera spesso gli effetti, ma questi non sono per lo più che fenomeni accidentali e che non modificando il corpo fuorchè in una minima parte della sua massa, appena possono essere considerati come antagonisti ad una attività così generale quanto è quella che costituisce questa forza fondamentale dell' universo.

Considerando la gravità sotto l'aspetto di pressione si rende ragione del perchè non si è ancora provata la sua successiva propagazione. Questa non potrebbe apparire che o per la distruzione di una massa qualunque o per la creazione di un' altra, cose tutte affatto fuori dell'ordine presente della natura. La propagazione successiva del moto vibratorio può riconoscersi benchè sia rapidissima, perchè

(1) V. sopra pag. 72.

il moto comincia e finisce ad ogni pulsazione. Ma per la pressione il caso è diverso, la costituzione circostante del mezzo già modificato esiste anticipatamente, e solo col trasportarsi il centro si rinforza a mano a mano che si accosta a un altro corpo, e la mutazione facendosi gradatamente e per via di semplice differenza, e con velocità superiore generalmente a quella del corpo in moto, la sua variazione riesce indistinta da quella stessa del posto del corpo. Certamente immaginando creato un nuovo centro di materia nello spazio, pare che l' azione gravifica dovrebbe impiegare un certo tempo a diffondersi a distanza, ma ciò è impossibile verificarlo coll'osservazione.

La gravità imprime le stessa velocità nell'unità di tempo a tutti i corpi. Questa scoperta di Galileo mostra che ogni molecola è ugalmente sollecitata indipendentemente dalla sua natura chimica. Essa è d'accordo con quanto si trovò pel calorico, pel quale si vide che tutti gli atomi elementari primitivi quando erano di massa eguale aver doveano la stessa capacità calorifica. Vale a dire che in ambedue i casi l' inerzia è la sola forza da vincere e questa è vinta di quantità eguali per eguali quantità di moto, sia per produrre la dilatazione donde si ha la gravità, sia per produrre l'agitazione termica. Questo risultato è molto favorevole all' unità di principio che stiamo esponendo, e ne dà una nuova dimostrazione se i nostri ragionamenti sono esatti.

Considerando la gravità come effetto di un mezzo, le reazioni del moto acquistato nella caduta dei corpi verso i loro centri non devono più cercarsi direttamente nei centri stessi, ma nello spazio che circonda i corpi attratti. Un pianeta cadendo verso il sole acquista una certa quantità di forza viva per la reazione del mezzo circostante, ma una egual quantità di forza viva è perduta dal mezzo medesimo, come appunto accade in un corpo pesante che sale nell'acqua, in cui tanto di lavoro positivo si fa sul grave che é alzato

quanto di negativo si fa nel liquido che da esso è spostato e resta abbassato.

Quindi ancora si vede che a cagione di tale reazione del mezzo contiguo non è più impossibile che la inerzia dell'etere che è insensibile quando trattasi di masse compatte come sono quelle de'pianeti, non sia più trascurabile trattandosi di quelle che sono ridotte ad estrema sottigliezza. In questo caso è evidente che oltre una resistenza tangenziale potrebbe aver luogo una resistenza radiale, la quale spiegherebbe i fenomeni che hanno luogo nelle comete e che finora si sono attribuiti a una forza ripulsiva proveniente dal sole. Le forme di questi corpi stabiliscono fuor di ogni dubbio possibile che la gravità non è la sola forza che regna negli spazi planetari: se essa deriva dall'azione di un mezzo, questo necessariamente deve produrre e le accelerazioni dei moti medii osservati in questi astri, e le forme rovesciate de' getti che si scagliano da esse contro il sole. I calcoli di Plana hanno dimostrato, è vero, che l'esistenza della forza ripulsiva non è provata considerando i moti del centro di gravità delle comete a breve periodo, ma nulla hanno deciso per ciò che spetta le forme e gli altri fenomeni fisici che esse ci presentano (1).

Queste cose anzi chè appagare la nostra curiosità su la causa delle forze cosmiche non possono forse fare altro che stimolarla, ma anche questo sarà un grande vantaggio, purchè si operi colla debita sobrietà. Il mezzo resistente di cui parlasi dagli astronomi per le comete si vuole da alcuni diverso dall' etere luminoso, e che sia piuttosto quello che forma la luce zodiacale, ma questa distinzione non è ammessa da tutti. Finora però non si è riconosciuta nessuna influenza sulla cometa retrograda di

(1) Plana Mem. sur l'intègr. des équations differentielles relatives au mouvement des comètes dans l'hypothése de M. Faye. 1861. Ac. de Turin Tom. XXI. ser. II.

Halley, la quale avrebbe dovuto ritardare il passaggio al perielio di 7 giorni secondo i calcoli di Rosemberg se avesse sofferto una resistenza pari in intensità a quella che soffre la cometa di Encke; anche l' altra di Faye calcolata da Axel Moller non avrebbe il medesimo coefficiente di resistenza. Ma è manifesto che la reazione deve dipendere anche dalla forza individuale con cui i varii astri lanciano le loro materia per espansione, e che non può aspettarsi identica in tutte le comete. Quindi quella specie di forza elettiva sospettata da Faye che secondo la diversa natura dà origine a varie code, ecc.

Per compiere ciò che spetta la resistenza del mezzo planetario non sarà fuor di proposito ricordare qui i recenti lavori del sig. Hinrichs. Crede esso che realmente abbia luogo una debole resistenza dell' etere luminoso, ma così tenue che gli effetti non si manifestino che lentissimamente nei pianeti, attese le loro grandi masse e le densità. Se la terra si accostasse al sole ogni anno di 10 piedi inglesi (3mo circa), la durata dell' anno sarebbe accorciata di un secondo in mille anni. Ora l'astronomia è ben lungi dal poter assicurare che non esiste effetto di questa specie. Una prova di questa resistenza crede esso trovarla nel fatto che le distanze de' pianeti dal sole, benchè siano prossimamente rappresentate dalla legge di Titius, esse però nol sono esattamente, e i pianeti e i satelliti che più ne deviano sono appunto quelli su cui secondo la sua teoria deve avere maggior influenza la resistenza del mezzo. Onde è probabile che quella legge da principio avesse luogo esattamente e ora si trovi sconcertata per tal resistenza come appunto le formazioni geologiche regolari e orizzontali quando si formarono, furono poscia disturbate da cause secondarie (1).

Da questi principii seguirebbe ancora che i sistemi secondari più lontani dal sole sono i più antichi, il che com-

(1) Hinrichs Silliman American journal. Jan. 1864.

binerebbe bene coll' ipotesi nebulare preposta da Laplace sulla formazione del nostro sistema.

Senza dare per inappuntabili queste teorie, noi diremo che i fenomeni fisici a noi accessibili dimostrano realmente la resistenza del mezzo etereo in quelle circostanze in cui è dotato di velocità e moto straordinario, come lo vedemmo nei fenomeni di induzione elettromagnetica, ma per ciò che spetta i pianeti realmente non si può finora nulla decidere. La resistenza di un mezzo impiccolendo gli assi trasversi e quindi alterando i moti medii, potrebbe cambiare le proporzioni di tutto il sistema, comprese anche le durate delle rotazioni: e allora noi non ce ne accorgeremmo punto, almeno nel breve periodo di osservazioni storiche esatte che abbiamo, e solo si potrebbe ciò verificare di tanto in tanto colle misure delle parallassi. Ora questo elemento anche pel Sole è così poco sicuro, che si è creduto necessario di aumentarlo di un 30mo nello scorso anno; e di un poco ancora fu aumentata la parallasse della Luna (1). Con questo non ne viene nessun biasimo agli astronomi, perchè i tre milioni di miglia che porta quella variazione nella distanza del sole a noi, sono una quantità sì piccola nelle misure da cui dipende, che non eccede la grandezza di un capello umano veduto alla distanza di 45 metri. Questa correzione d'altronde era richiesta anche da altri elementi teorici delle perturbazioni planetarie, e dalla velocità della luce determinata ultimamente con esperimenti diretti, ondè è venuta opportunissima l'osservazione recente di Marte a conciliare tutti questi elementi. Resterà solo a vedere se essa è confermata da futuri passaggi di Venere avanti al sole.

La gravità essendo un effetto di movimento, essa deve produrre necessariamente tutti que'fenomeni che direttamente derivano dal moto. Così per esempio abbiamo veduto che la forza viva da essa prodotta si trasforma in calore all'atto della caduta de'gravi, e quindi può dar luogo

(1) Month. Notices R. astr. Soc. Lond. 1864.

a tutte le forze che con questo agente sono connesse. Sulla superficie terrestre essa fa un continuo contrasto alle azioni moleculari, e la sua pressione è incessantemente equilibrata da queste, talchè quiete assoluta non esiste, e solo un continuo conflitto di moti e azioni opposte. Ma può farsi una domanda. Potrà il moto calorifico convertirsi in gravità? Nell'assunta ipotesi ciò non è punto impossibile, perchè essendo gli effetti dell'uno e dell'altra dovuti a due movimenti, uno si può convertire nell'altro, come in un corpo rotante il moto di *riflessione* può divenire *progressione* e viceversa.

Per tal modo, e per la reciproca azione di tutti i centri della materia, la caduta continua de'pianeti verso il sole può esser capace di restituire a quest'astro coll' intermedio dell'etere anche una porzione di quella forza viva che esso perde continuamente sotto l' aspetto delle radiazioni. Forse questa è la maniera con cui si equilibra nei pianeti l'energia meccanica, che arrivando alla loro superficie dal sole sembra doversi accumulare nella lor massa indefinitamente per le azioni chimiche e termiche in essi immagazzinate (1).

La questione dell'equilibrio della forza nel sistema solare e della costanza di temperatura nel sole, fu sempre di sommo momento della scienza e stimolò le speculazioni di tutti i filosofi. Neuton credette che le comete potessero essere destinate ad alimentare il sole, come combustibile destinato a compensarlo delle materie perdute nell' emissione luminosa. Ora che è provato la luce esser un movimento, si è cercato di trovare un compenso dell' energia meccanica perduta nella restituzione di forza viva che opererebbero gli aeroliti cadenti alla sua superficie (Waterston). Ma molte difficoltà si oppongono a tale ipotesi. Invece per la mutua reazione delle parti del sistema solare connesse mediante l'etere può accadere lo stesso, e non sembra che sia necessario ricorrere all'urto diretto delle masse ponderabili.

(1) V. sopra Cap. II. §. pag. 156.

L' Eterno Artefice che ha stabilito tante vie per quella che noi diciamo rigenerazione della materia, e che consiste nella conservazione della sua attività, malgrado le continue trasformazioni, è da presumere che non abbia lasciato senza compenso quella sorgente da cui tutta dipende la vita sui corpi del sistema planetario. Col principio stabilito la reciprocanza deve sussistere, ma è difficile pronunziare se essa sia tale che si compia perfettamente ad ogni istante, ovvero per crisi ed epoche indeterminate, come in altri sistemi d'ordine inferiore. La scienza nostra è incapace a deciderlo, perchè quì le etá si contano colle norme di Quello per cui *mille anni sono come il giorno di ieri che passò*. E se pure il sole ha le sue vicende, esse sono tali che è a noi finora inaccessibile la loro legge.

L' azione dell'etere, pertanto, mentre da un lato può produrre la gravità, dall'altra parte non opporrebbe sensibile resistenza al moto de' pianeti, sia per la piccolezza della sua inerzia in confronto di quella delle masse planetarie, sia perchè come ammise Fresnel, e sembrano indicarlo anche i recenti esperimenti di Fizeau (1), esso ha già attorno al sole in ciascuna zona planetaria una velocità di circolazione molto prossimamente eguale a quella de'pianeti stessi. Nelle comete invece riuscirebbe appunto sensibile tal resistenza non solo alla forza tangenziale, ma anche alla radiale sotto l'aspetto di una repulsione solare, perchè attese le loro orbite assai inclinate e talora anche contrarie al suo corso, esse affrontar devono la sua circolazione. Vedemmo che questa circolazione è suggerita anche dai fenomeni magnetici: ma con essa non si risuscitano i vortici di Keplero e Descartes, perchè l'etere non sarebbe qui la causa attiva della traslazione de' pianeti nelle loro orbite, ma li accompagnerebbe solamente e perciò non avrebbe luogo alcuna resistenza.

(1) Fizeau *Comptes Rendus* 1859. vol. XLIX. pag. 717.

CONCLUSIONE

Nel levare la mano da questo lavoro cresciuto di molto oltre il limite che io presumeva da principio, non posso a meno di non invitare il lettore a dare uno sguardo retrospettivo al cammino percorso.

Se esso invece di fermarsi agli ultimi articoli relativi ai punti che più stimolano la curiosità, avrà pazientemente seguita tutta la discussione, avrà conosciuto l' immenso progresso che nella cognizione della natura ha fatto in questi ultimi anni lo spirito umano, e sarà restato convinto che i risultati parziali ottenuti nella via sperimentale dischiudono la via ad una nozione ben più semplice e precisa che non si avea dianzi sulla natura delle forze che reggono la pura materia.

Il risultato fondamentale può riassumersi in questo principio, che sbandite le tendenze astratte, le qualità occulte de'corpi e i numerosi fluidi immaginati finora per spiegare gli agenti fisici, *tutte le forze della natura dipendono dal moto.*

Questo moto deve ammettersi nelle singole parti della materia nel modo più generale che lo può concepire una massa finita, cioè rotatorio e traslatorio. Per questa sua doppia modalità esso diviene indestruttibile nelle masse, considerato anche meramente nell' ordine meccanico in virtù dell' inerzia, e non abbisogna di azione speciale che lo rinnovi. La sua energia proveniente dall'impulso primitivo del Primo Motore si conserva con quella azione medesima che conserva la materia.

Questo principio che i moderni chiamano conservazione di energia, non è in fondo che il primo principio proclamato da Neuton nelle leggi della comunicazione del moto, cioè l'eguaglianza dell'azione e della reazione. Un cor-

po semplicemente libero, naturalmente si muove in linea retta e nella direzione dell'impulso che ha ricevuto, ma quando esso incontra una seconda massa a cui deve comunicare il suo moto, allora esercita una azione che trova nell'altro una reazione eguale. Da questo principio risultano non solo le leggi dello scambio di moto tra corpi nei quali non si sviluppa nessuna forza interna, ma anche quelle che regolano la sua comunicazione per mezzo di altri corpi, come p. es. di leve, di corde ecc. che costituiscono le macchine, e hanno luogo i principii dell'eguaglianza de'momenti, delle aree, e quello detto comunemente di D'Alembert, per cui esiste sempre equilibrio in un sistema tra le forze perdute da una parte e le acquistate dall' altra, e che riduce i problemi di dinamica a quelli di statica.

Questo stesso principio ha luogo anche in quella classe di azioni in cui le resistenze sono continue e nascono o dall'attrito, o dalla coesione, o dalla gravità, o dall'acceleramento del corpo. Valutando in ciascun istante l'azione della causa pel prodotto della forza mv nella velocità dv ne nasce $\frac{1}{2} mv^2$ che dicesi forza viva o energia o lavoro attivo; e valutando la resistenza o reazione per la velocità comunicata nell' istesso tempo alle parti del corpo moltiplicata per l' intensità dalle forze resistenti, di qualunque specie esse siano, avremo il lavoro eseguito, che pel principio suddetto deve essere uguale al lavoro attivo, e sarà rappresento per l' intensità della forza resistente moltiplicata per lo spazio percorso in ciascun istante.

Nessun dubbio è stato mai sollevato contro la verità di questi principii, finchè si è trattato di moti di masse ponderabili, e per queste si è sempre ammesso come evidente l' impossibilità del moto perpetuo. Ma la natura astrusa e mal cognita di certe resistenze e di alcune cause di moto dette di ordine *fisico*, non permetteva di applicare questi principii a molti fatti, come sono le azioni chimiche o quelle della elettricità e della luce, e sopratutto a quelli del calore.

Gli studi intrapresi in questi ultimi anni fecero conoscere che i suddetti principii meccanici hanno luogo pure in questi medesimi casi.

Le scoperte fatte intorno alla luce e al calore radiante aveano già persuaso che il calorico era fenomeno di movimento e lo stesso dovea quindi dirsi di alcune azioni chimiche. Ma il fatto recentemente dimostrato della trasformazione del calorico in forza meccanica con disparizione della temperatura, ha messo i fisici su di una nuova via di ricerche: si è riconosciuto che l'eguaglianza tra l'azione e la reazione esiste non solo tra i moti finiti dalle masse, ma anche in que' movimenti moleculari che costituiscono ciò che dicesi appunto calorico. Questo moto moleculare è in noi la causa immediata e il principio diretto della sensazione del calore, e la temperatura e il diverso stato dei corpi dipendono dall' intensità della forza viva che anima le molecole, attesochè la temperatura si misura col *lavoro* delle dilatazioni. Per tal moto ancora la materia si riduce allo stato espansivo proprio de' fluidi elastici, e in genere da esso dipendono quelle forze che diconsi diffusive o ripulsive.

Uno studio più profondo delle proprietà della materia ha mostrato che le forze che costiuiscono i corpi e danno loro una forma determinata e diconsi comunemente attrazioni moleculari, non dipendono da legami materiali posti fra le parti costituenti, nè da principii astratti la cui azione a distanza è assurda, ma che devono considerarsi semplicemente come effetto de' movimenti di cui sono dotate le masse elementari e che l'azione o energia motrice s'impiega a modificare questi movimenti. Tutti gli effetti meccanici e termici della materia si riducono semplicemente a cambiare delle direzioni e alterare delle velocità nelle masse, e l' unica differenza tra gli effetti ordinari ed i moleculari consiste in questo, che nelle prime i moti sono estesi e sensibili, e nelle altre sfuggono per la piccolezza i nostri sensi. E benchè talora sembri mancare la traslazione locale, non per questo l'effet-

to è nullo, esaurendosi allora l'azione in modificare le rotazioni. Le minime masse molecolari possono e devono resistere per questa ragione e per la semplice inerzia come fa il toro girante del giroscopio, che offre gran resistenza a chi vuole mutarne la direzione, benchè esso sia sospeso su mobilissimi perni, e ciò solo perchè è dotato di rotazione.

Mercè di queste reazioni il lavoro delle forze nell' interno delle masse è ridotto a mero effetto dinamico, e deve per esso sussistere il principio generale stabilito per tutti gli altri moti. In pratica ogni azione meccanica si risolve in urto di massa e questo dalle masse finite passando alle molecole particolari, in fine si risolve in calore. Viceversa, dal calore deriva la potenza meccanica , sia sotto l' aspetto di moto moleculare chimico , sia di dilatazione termica, il tutto con compensazione perfetta nella grande struttura dell' universo, di cui noi occupiamo un punto , onde saria follia da questo solo pronunziare ciò che sia per accadere all'estremo del creato.

Se non chè l'azione della materia ponderabile, e percettibile ai nostri sensi, non è sempre la sola di cui bisogni considerare gli effetti e l' influenza: esiste nello spazio e nell' interno di tutti i corpi una materia più sottile, la cui azione è capace per l'inerzia di estinguere i moti delle masse ponderabili e per le leggi di equilibrio e di pressione può tenere le masse pesanti a debite distanze ed impedirle di sbandarsi, e anche procurarne l'avvicinamento, ed essa in genere agisce come un fluido.

La luce ci mostrò l'esistenza di questa materia sottile diffusa per tutto l' universo, che colle sue vibrazioni desta non solo la sensazione del lume, ma anche la azioni termiche e chimiche tra i corpi posti a distanza. Questo mezzo diffuso nell' interno di tutti i corpi diafani o opachi, coi suoi movimenti di trasporto è la causa di que' fenomeni che costituiscono l'elettricità dinamica e il magnetismo, ed entra in azione nelle operazioni chimiche. Col suo flusso serve

a trasportare la forza viva da una parte all'altra delle masse poste in contatto nelle combinazioni voltiane, e colle sue pressioni dà luogo alle attrazioni e ripulsioni elettrostatiche.

Questo mezzo non è un principio diverso dalla materia commune in quanto alla sostanza, ma solo suppone una condizione o stato della materia medesima differente da quello che costituisce i corpi detti ponderabili. Questo stato sarebbe quello di una disgregazione completa, o di una attenuazione per la quale essendo essa ridotta a semplici atomi elementari, penetra da per tutto, tanto negli spazi planetari che nell' interno de' corpi.

La materia ridotta in questa condizione è distinta col nome di *etere*, ma essa non isveste le sue proprietà essenziali. Essa è inerte e soggetta a tutte le leggi della meccanica commune, nè può dirsi agente immateriale salvo che per abuso, e in senso di opposizione alla materia pesante. La sua resistenza ai moti traslatorii non diviene sensibile che in casi eccezionali nei quali è dotata di enormi velocità, e non apparisce soggetta all'azione della gravità, perchè essa stessa è la causa di questa forza medesima e di tutte le attrazioni.

Il moto è la causa diretta delle ripulsioni, in quanto che le molecole se fossero sole e libere, per l'impulso primitivo ricevuto andrebbero indefinitamente a perdersi nello spazio per la loro legge di inerzia, e si separerebbero le une dalle altre indefinitamente; ma essendo moltiplicate immensamente tali particelle in ispazi limitati, questo stesso lor moto riesce causa indiretta delle attrazioni, in quanto che ogni centro di materia che sia costituito di massa diversa dagli atomi meramente elementari, per ciò solo diventa un centro di minore densità nel mezzo medesimo, onde ne deriva una maggior facilità di spostamento de'centri stessi secondo la linea che li congiunge, il che produce le attrazioni e le pressioni circostanti. Secondo l' ampiezza

e l' intensità del moto in queste sfere di dilatazione, e per l'influenza delle rotazioni hanno origine a diversa distanza le attrazioni da cui dipendono le proprietà chimiche e molecolari de' corpi, e quelle che governano i moti planetari.

Così tutto dipende dalla *materia* e dal *moto* e siamo ricondotti alla vera filosofia della natura inaugurata dal Galileo, che cioè in natura tutto è moto e materia o modificazione semplice di questa, per mera trasposizione di parti o qualità di moto. Così spariscono quelle caterve di fluidi e di forze astratte che erano proposte a gara per ispiegare ogni fatto particolare, cui non mancò mai chi le rigettasse e proscrivesse nell' Italia nostra; e ora abbiamo il piacere di vedere queste teorie difese universalmente dai distinti scienziati degli altri paesi.

Noi stendiamo volentieri la mano a quelli che sbandiscono tali agenti misteriosi; ma, almeno finora, non possiamo concedere che tutti i fenomeni della natura dipendano da quell'unica condizione di materia che diciamo ponderabile, e crediamo necessario ammettere che essa esiste in un' altra condizione indipendente dalla forza di gravità e che ridotta a stato sottile e attenuato dà origine coi suoi semplici movimenti diversi ai fenomeni suddetti della luce, dell'elettricità, del magnetismo e della gravità stessa.

Se poi un giorno si riuscirà a provare che non è mestieri ammettere questa seconda condizione, ciò non farà che restringere sempre più il numero de'mezzi di cui la natura si serve per ottenere i suoi fini, e resterà sempre più comprovato il gran principio che il moto e la materia bastano a spiegare i fenomeni che conosciamo sotto il titolo di forze fisiche.

Ciò però non vuol dire che restino sciolte tutte le questioni sui fenomeni particolari della natura e che cessi la necessità di ulteriori studi ed investigazioni. Restano in infiniti casi a rintracciare i veri modi di agire di questi stessi movimenti, restano a riconoscere i meccanismi interni

con cui si eseguiscono, resta a ridurli a leggi reciproche. L'aver trovato che i fenomeni celesti dipendevano da movimenti non dispensò dall' investigare con gran pena per molti secoli le loro leggi, e così sarà nella meccanica molecolare. La teoria del moto de'fluidi, anche ponderabili, è tuttavia sì imperfetta che non deve sorprendere che restino oscuri molti punti relativi agli effetti del fluido imponderabile, e lo schiarir questi non sarà piccolo lavoro.

Capito però una volta che tutto si fa per mezzo di movimento, gli studi saranno più facilitati, e sarà tracciata una novella via per arrivare più direttamente alla soluzione dei problemi che includono la spiegazione de'fenomeni; poichè l'aver ben posto un problema è già un gran passo fatto verso la sua soluzione. Come la vera chimica data la sua origine razionale dal giorno in cui entrò come condizione indispensabile la quantità costante delle masse , così la vera teoria de' fenomeni fisici cominciò dal giorno in cui si prese a tener conto della quantità del moto o della *forza viva*, e l'aver fatto questo gran passo è gloria de'nostri contemporanei. Allora solo sarà spiegato veramente un fatto, quando sarà conosciuta la *quantità* del lavoro eseguito in ciascun caso e il *modo* di trasformazione del moto che lo produce. Ora però, siamo ben lungi dal poter raggiungere sì alto scopo.

Tuttavia abbiam veduto che già si sono fatti grandi progressi col determinare gli equivalenti delle varie forze ; abbiam veduto che se ciò è difficile in molti casi, esso è però possibile in tutti, e quello che resta a fare non è opera di principio, ma piuttosto di deduzione. La scoperta della teoria meccanica del calorico ha rotto la grande barriera che impediva il progresso alla intelligenza della meccanica moleculare , e con questo principio innumerabili fatti conosciuti dianzi sono venuti a ricevere la loro naturale spiegazione. La valorosa falange di studiosi che si è gettata in questo arringo, e lo divora a gran passi, arriverà presto

alla desiderata meta. I lavori teorici sulla luce e sul magnetismo avevano preparato tale trionfo della scienza, che ora vediamo compiersi ogni dì meglio.

A noi, deboli ammiratori di sì grande successo, resterà la soddisfazione di aver messo sotto gli occhi del lettore il nesso de' fatti che formano il patrimonio intellettuale che la generazione presente va accumulando per trasmetterlo alla futura. Da un semplice sguardo gettato su questi preziosi frutti di tante fatiche, ci si manifestò in mille modi il mirabile nesso che lega tutti i fenomeni dell' universo.

Ma l' investigare questi principii e il ravvisare queste cause dirette de'fenomeni non dispensa dalla Causa Prima, dalla cui sola volontà dipende la prima limitazione delle azioni in intensità e direzione definita. L'uomo non può far altro che indagare quella prima volontà del Creatore da cui come effetto mediatamente dipende tutto ciò che si presenta al suo sguardo. Se tanto più rifulge l'abilità di un artista quanto più semplice è il suo principio di azione o quanto più si dispensa dall' intervento della mano che lo introdusse, altrettanto sarà da dirsi dell'opera dell'Eterno Artefice. Ma qual uomo può presumere di arrivare a scoprire tant' alto ! I fenomeni da noi esaminati non sono che i più grossolani che ci presenta la creazione e infiniti altri resteranno sempre inaccessibili al nostro corto intendimento. Le forze da noi studiate sono come il materiale primo che forma questa grand' opera della creazione. Ma i suoi ornati, le sue ricchezze in quella che noi conosciamo come disposizione organica vegetale o animale, sono ancora ben lungi dal nostro concetto.

Tuttavia il nesso e l'armonia in questa stessa piccola parte ci apparve tanto meglio, quanto le materie le vedemmo sbarazzate da quella moltitudine di dettagli che necessariamente ingombrano i corsi elementari. Da questo punto di vista assai elevato, ma non troppo lontano perchè si perdesse-

ro di vista i particolari, avemmo un concetto chiaro e preciso di ciò che sono il calore, la luce, l'elettricità, il magnetismo e le forze moleculari, e le vedemmo agire meramente per via meccanica, donde come corollario ne seguì una congettura sulla natura di quella forza che regola gli astri dell'universo. Se di questa noi non riuscimmo a scoprire il secreto, non si negherà almeno che restò con ciò dimostrato che non è assurdo il credere che essa pure provenga dal moto. Le scoperte sugli altri rami delle forze fisiche ci danno almeno un punto d'appoggio per arrivarvi, e non si tarderà guari a conseguire l'intento.

La meccanica moleculare è oggidì nel medesimo stato in cui si trovava la meccanica celeste all'epoca di Keplero, quando si conoscevano le leggi parziali de'moti e si ignorava la legge che tutte le comprendeva, e che al Neuton riuscì trovare. Augurando che presto comparisca chi valga a dissipare quel resto di oscurità che tuttavia circonda questo astruso soggetto, sarò pago di aver fatto l'uffizio di cote:

Acutum
Reddere quae ferrum valet exsors ipsa secandi.

FINE

Aggiunte e correzioni

Pag.	lin.		
7	2 *salendo*.	unita . . .	*leggi* unità
18	16	del calore . . .	del calore, e la facilità con cui esso si disperde
44	23	cosa	coesione
78	6 *sal.*	5m di tempo . . .	5m di tempo per ogni piede quadrato di superficie
91	20	chilogrammi . . .	chilogrammetri
158	23	comburenti . . .	combinantisi
166	3 *sal.*	colore	calore
213	19	e quella	è quella
217	9	e visibile	è reso visibile
231	20	si conducono . . .	ci conducono
243	11	la precedente . . .	siccome la massa investita nei due casi è la stessa, perciò la formola precedente
252	3	tragitto	tragitto (V. su di ciò appresso a p. 360 e 408 in fine)
255	16	misure	misuratori
288	7	In se	Se in
290	19	quelli	quelle
314	6	chiusura	apertura
319	8	filo conduttore . .	filo di sostanza conduttrice
350	12	in tutte le direzioni	in tutte le direzioni degli urti
375	14	propaggerà . .	propagherà
389	4 *sal.*	elicci	elici
430	3 *sal.*	le	li

INDICE

CAPO I. DEL CALORICO.

IMPRIMATUR
Fr. Hieronymus Gigli O. P. S. P. A.
Magister

IMPRIMATUR
Petrus Castellacci-Villanova Archiep. Petren. Vicesg.